

SÉRIE A, N° 2783

N° D'ORDRE :

3655

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

PIERRE-NOËL MAYAUD

1^{re} THÈSE. — ACTIVITÉ MAGNÉTIQUE DANS LES RÉGIONS POLAIRES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 13 Mai 1955 devant la Commission d'examen.

MM. THELLIER..... *Président.*

CAGNIARD }
VASSY } *Examineurs.*

EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES

47, avenue du Maréchal Fayolle

PARIS

1955

SÉRIE A, N° 2783

N° D'ORDRE :

3655

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

PIERRE-NOËL MAYAUD

1^{re} THÈSE. — ACTIVITÉ MAGNÉTIQUE DANS LES RÉGIONS POLAIRES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 13 Mai 1955 devant la Commission d'examen.

MM. THELLIER *Président.*

CAGNIARD
VASSY } *Examineurs.*

EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES
47, avenue du Maréchal Fayolle
PARIS
1955

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen J. PERES

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.	LAPORTE	T	Physique Générale et Radioactivité.
E. DARMOIS	T	Enseignement de physique.	JANET	T	Mécanique analytique et Mécanique céleste.
R. LEVY	T	Physiologie comparée.	PETIT	T	Biologie maritime.
FOCH	T	Mécanique Physique et Expérimentale.	QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique.
PAUTHENIER	T	Electrotechnique Générale.	GALLIEN	T	Embryologie.
DE BROGLIE	T	Théories physiques.	EICHHORN	T	Biologie végétale (P. C. B.)
JOB	T	Chimie générale.	DE CUGNAC	T	Biologie végétale (P. C. B.)
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparées.	Mlle. CAUCHOIS	T	Chimie physique.
GARNIER	T	Géométrie supérieure.	THELLIER	T	Physique du Globe.
PERES	T	Mécanique des fluides et applications.	AUDUBERT	T	Electrochimie.
LAUGIER	T	Physiologie générale.	L'HERITIER	T	Génétique.
M. CURIE	T	Physique (P. C. B.)	GRIVET	T	Radioélectricité.
BARRABE	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.	PONCIN	T	Mécanique des fluides.
G. DARMOIS	T	Calcul des probabilités et Physique Mathématique.	THIRY	T	Mécanique appliquée.
J. BOURCART	T	Géographie physique et Géologie dynamique.	DUBREIL	T	Arithmétique et théorie des nombres.
Mme JOLIOT-CURIE	T	Physique nucléaire et Radioactivité.	QUELET	T	Chimie organique.
PLANTEFOL	T	Botanique.	CAGNIARD	T	Géophysique appliquée.
CABANNES	T	Recherches physiques	CHAMPETIER	T	Chimie macromoléculaire.
GRASSE	T	Evolution des êtres organisés.	CUVILLIER	T	Géologie structurale et Géologie appliquée.
PREVOST	T	Chimie organique.	JUNG	T	Pétrographie.
BOULIGAND	T	Application de l'analyse à la géométrie.	TRILLAT	T	Chimie physique.
CHAUDRON	T	Chimie appliquée.	WIEMANN	T	Chimie (M. P. C.)
WYART	T	Minéralogie.	JACQUINOT	T	Spectroscopie et Physique céleste
TEISSIER	T	Zoologie.	VASSY		Physique de l'atmosphère.
MANGENOT	T	Biologie végétale.	DESTOUCHES		Théories physiques.
P. AUGER	T	Physique quantique et relativité.	M. PRUVOST	T	Géologie.
MONNIER	T	Physiologie des fonctions.	AMIEL	T	Chimie (P. C. B.)
PIVETAU	T	Géologie.	HOCART	T	Minéralogie.
ROCARD	T	Physique (E. N. S.)	J. P. MATHIEU	T	Physique (P. C. B.)
H. CARTAN	T	Mathématiques (E. N. S.)	COUTEAUX		Biologie Animale (P. C. B.)
LAFFITE	T	Chimie générale.	MAY		Biologie Animale (P. C. B.)
FAVARD	T	Mécanique générale.	CHOQUET	T	Calcul différentiel et intégral.
COULOMB	T	Physique du Globe.	FELDMANN		Biologie (P. C. B.)
Mlle. COUSIN	T	Biologie Animale (P. C. B.)	GUINIER	T	Physique.
CHRETIEN	T	Chimie minérale.	JOST	T	Biologie (P. C. B.)
P. DRACH	T	Zoologie.	FORTER		Calcul des probabilités.
KASTLER	T	Physique.	SCHWARTZ	T	Méthode mathématique de la Physique.
EPHRUSSI	T	Génétique.	CHOUARD	T	Physiologie Végétale.
WURMSER	T	Biologie physico-chimique.	MALAVARD	T	Aviation.
RIVIERE	T	Géologie (S. P. C. N.)	BRELOT	T	Calcul différentiel.
GAUTHERET	T	Biologie végétale	NORMANT	T	Chimie (P. C. B.)
LUCAS	T	Physique.	BENARD		Chimie (P. C. B.)
A. THOMAS	T	Biologie Cellulaire.	BUVAT		Botanique (E. N. S.)
ARNULF	T	Optique appliquée.	DUGUE		Statistiques mathématiques.
Max MORAND		Physique.	GELOSO		Chimie (P. C. B.)
SOLEILLET	T	Physique.	SOULAIRAC		Psychophysiologie.
FORTIER	T	Mécanique expérimentale des fluides.	ULRICH		Physiologie végétale.
DANJON	T	Astronomie.	MARECHAL		Optique théorique et appliquée.
FROMAGEOT	T	Chimie biologique.	KIRRMANN	T	Théories chimiques.
			CHADEFAUD		Botanique.
			DESTRIAU		Physique (M. P. C.)
			Mlle. LE BRETON		Physiologie générale.
			SALEM		Mathématiques générales.

Secrétaire Général Ch. MONIER



à G.C.Simpson

et

à E.N.Webb

Ce travail a pour origine les enregistrements magnétiques que j'ai rapportés de mon hivernage à Port-Martin. Cependant il n'aurait jamais pu être réalisé sans le secours de documents provenant de plus de cinquante observatoires. La plupart n'étaient que des stations provisoires de l'Antarctique ou de l'Arctique, occupés pendant la Première ou la Seconde Année Polaire Internationale, ou encore lors d'une expédition isolée. Ce sont d'abord les magnéticiens de ces stations que je voudrais remercier, et ce m'est une joie de dédier cette étude à Sir George Simpson (magnéticien du Cap Evans, 1911-1912) et à E.N.Webb (magnéticien du Cap Denison, 1912-1913), en signe de mon admiration pour la qualité des enregistrements qu'ils ont obtenus, ceci dans des conditions autrement difficiles que celles que l'on peut rencontrer maintenant.

D'autre part, je ne saurais trop dire toute ma reconnaissance au Professeur E. Thellier qui a suivi avec attention le développement de ce travail et dont les conseils m'ont été précieux. Je remercie les Professeurs L. Cagniard et E. Vassy d'avoir accepté de faire partie de mon jury, ainsi que le Révérend Père P. Lejay et Monsieur D. Lépéchinsky qui m'ont aidé à prendre une connaissance plus précise des théories de Chapman-Ferraro et de Martyn. Enfin je dois remercier les Expéditions Polaires Françaises, pour les facilités qu'elles m'ont accordées pour mener à bien le travail matériel nécessité par cette étude, et je tiens plus spécialement à exprimer ma gratitude à Madame A. Gontier et à Mesdemoiselles S. Sigogne et E. Hensinger.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553821_0030

SOMMAIRE

Un séjour à la station antarctique de Terre Adélie est à l'origine de ce travail. Pendant l'année 1951-1952, nous y avons enregistré les variations du champ magnétique* et constaté l'existence permanente, pendant le jour, d'une agitation magnétique dont l'intensité croissait de l'hiver à l'été. Pour interpréter ce phénomène, nous avons été conduits à étudier systématiquement la presque totalité des enregistrements polaires antérieurs. Nous avons retenu les indices K comme mode d'analyse pour tous les enregistrements; aussi, avons-nous dû dépouiller personnellement près de 25 années d'enregistrements d'origines diverses. Avec les indices déjà publiés, nous disposons ainsi de données relatives à 49 stations, de latitude supérieure à 50°, dont 11 dans l'hémisphère Sud. De plus, nous avons utilisé des séries de 11 à 12 années d'observations provenant de 6 stations convenablement situées, et ceci dans un double but : vérifier le "poids" qu'il était possible de donner à une seule année d'enregistrements, et étudier le changement des conditions d'activité au cours d'un cycle solaire. L'ensemble de ces données équivaut à peu près à 300 000 indices, ou encore à une centaine d'années d'enregistrements.

Les études antérieures d'activité utilisaient des indices qui, en général, n'étaient ni homogènes ni exprimés en une unité de champ magnétique; ceci rend difficile une comparaison réelle entre observatoires. Aussi pour éliminer ce défaut, nous avons déterminé expérimentalement des coefficients permettant de convertir les indices trihoraires K, qui sont des nombres purs, en amplitudes absolues trihoraires en gammas. Nous avons d'abord constaté que le paramètre "champ géomagnétique" ordonnait mal les observatoires entre eux; les données de E. H. Vestine sur le champ en altitude ont permis d'utiliser celui-ci comme paramètre, une altitude de 3000 à 5000 km a été retenue comme la meilleure.

L'ensemble des données sur les amplitudes absolues trihoraires en gammas nous a conduits, d'un point de vue expérimental, à séparer deux types distincts d'activité et permis de définir leurs propriétés respectives. Pour les décrire, convenons d'appeler ces deux types, d'une part activité N (maximum de nuit) et, d'autre part, activité J (maximum de jour).

a - Activité N

La propriété dominante de l'activité N semble être, plutôt que la variation en latitude de l'intensité de son niveau moyen, la variation en latitude de la forme de la variation journalière de son intensité elle est obtenue pour tous les jours. Celle-ci comporte deux aspects :

- 1 - l'heure de son maximum nocturne présente le plus grand retard vers 77° d'inclinaison; ce retard est effectif surtout entre 72° et 81° d'inclinaison.
- 2 - la variation en latitude de l'intensité de son niveau minimum est différente de la variation en latitude de l'amplitude de sa variation journalière; le maximum d'intensité du premier, de même que le début de la variation rapide de cette intensité (début compté à partir des inclinaisons inférieures) sont décalées de 3 à 4° d'inclinaison vers le Nord par rapport à ceux de la seconde; la seconde est centrée sur la région du plus grand retard de l'heure du maximum nocturne.

Au point de vue variation dans le temps des propriétés de l'activité N, deux types peuvent être distingués :

- 1 - il n'existe pas de variation saisonnière pour l'heure du maximum nocturne; pour l'intensité de son niveau moyen, il n'existe que celle bien connue qui avantage l'équinoxe par rapport aux deux autres saisons (hiver, été) équivalentes en moyenne. Par contre, l'intensité du niveau minimum de l'activité varie en sens inverse de l'amplitude de sa variation journalière quand on compare hiver et été.
- 2 - l'élargissement de la zone aurorale, en période de grande activité solaire, est bien mis en relief par la comparaison de l'intensité du niveau moyen de l'activité pendant les jours calmes et les jours perturbés;

* P. N. Mayaud, Expéditions Polaires Françaises, Terre Adélie, 1951-1952, Magnétisme Terrestre, fasc. I, Etudes des observations - Paris - (1954).

l'existence de cet élargissement est également reconnue pour le niveau minimum de l'activité et l'amplitude de sa variation journalière, le même décalage que ci-dessus étant conservé entre ces deux quantités. Enfin, la région qui est la plus sensible, selon l'intensité du niveau moyen, à un changement très grand dans les conditions d'activité solaire est à peu près la même que celle où se produit le plus grand retard de l'heure du maximum nocturne.

b - Activité J

La brutalité de l'agitation observée sur les enregistrements pendant les heures où l'activité J est prépondérante, est la qualité dominante de cette activité. D'un point de vue quantitatif, sa propriété dominante semble être la variation du niveau moyen de son intensité qui croît de l'hiver à l'été*; l'activité J s'écarte donc sur ce premier point de l'activité N.

L'aire d'expansion de l'activité J s'étend jusqu'aux latitudes moyennes, mais elle n'apparaît avec une intensité suffisante pour changer le niveau moyen de l'intensité de l'activité prise dans son ensemble - et, par conséquent, influencer sur sa variation saisonnière - qu'à l'intérieur des isoclines de 81°. Son maximum d'intensité qui se produit aux environs du midi magnétique local vers 85° d'inclinaison, se déplace ensuite rapidement vers des heures matinales, quand on descend en latitude (vers 6 heures du matin à 81° d'inclinaison); sur le bord extérieur de la zone aurorale (où il réapparaît vers 74° à 75° d'inclinaison), il se produit vers 15 ou 16 heures locales; enfin, aux latitudes moyennes, il a lieu entre 13 et 15 heures. Tant au point de vue localisation - c'est-à-dire région de plus grande intensité - qu'au point de vue variation de la phase en latitude, cette activité J est donc différente de l'activité N.

Une troisième différence sépare ces deux types d'activité : la variation de l'intensité de l'activité J en fonction de l'activité solaire n'est pas la même que celle de l'activité N. Ce fait, qui est déjà apparent à partir de l'étude du niveau moyen de l'intensité pour tous les jours, apparaît encore mieux dans la comparaison des jours perturbés et des jours calmes et ceci de deux façons : soit par l'étude de la variation en latitude du rapport de l'intensité du niveau moyen des jours perturbés sur celle des jours calmes, soit par la comparaison des intensités du niveau moyen de l'activité J aux différentes saisons pour les jours calmes et les jours perturbés.

Ces conclusions montrent nettement la différence entre les deux activités N et J et conduisent à penser qu'on ne peut les attribuer au même mécanisme d'origine corpusculaire. En conséquence, nous avons cherché s'il était possible de rendre compte, d'un point de vue théorique, de cette différence.

Dans le cas de l'activité J, nous sommes partis des conditions du front corpusculaire neutre au moment de son approche de la terre, telles qu'elles sont décrites dans la théorie de Chapman-Ferraro, et montrons que les "cornes" qui se forment dans le front aux endroits où est nul le champ résultant de la composition des champs du dipôle terrestre et de son image dans le front, permettent d'expliquer les propriétés de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale. Son existence à l'extérieur de cette zone serait due à un transport de proche en proche, vers des latitudes moyennes, de la perturbation créée à l'intérieur de la zone.

Dans le cas de l'activité N, nous essayons de montrer dans quelle mesure les résultats expérimentaux, qui sont relatifs surtout à des données de "tous les jours", peuvent s'interpréter par un schéma du type "anneau équatorial". D'autre part, la supériorité du champ en altitude sur le champ géomagnétique pour "ordonner" en latitude et en longitude les données d'activité magnétique - supériorité qui est confirmée par une comparaison de la forme des isoclines en altitude et des isochasmes de fréquence aurorale maximum - est interprétée comme rendant compte de l'écart qui existe entre champ réel et champ géomagnétique à des distances de la terre de l'ordre de quelques rayons terrestres; en effet, à ces distances, le système d'isoclines du champ réel est déformé et décalé par rapport au système d'isoclines du champ géomagnétique dans des proportions nullement négligeables.

* Boréal ou austral sont sous-entendus suivant qu'il s'agit de l'hémisphère Nord ou Sud; d'autre part les propriétés définies ici sont en général valables pour les deux hémisphères.

SUMMARY

This work takes its origin in a stay at the Antarctic Station of Terre Adélie. During the year 1951-1952, we have recorded there the variations of the magnetic field* and detected the permanent presence, during day-time, of a magnetic agitation, the intensity of which increased from winter to summer. In order to explain this phenomenon, we have been led to systematically study almost the totality of the polar recordings previously made. We have retained the K indices as mode of analysis for all the recordings : consequently we have been obliged to personally measure almost 25 years of recordings of various origins. Besides the already published indices, we thus disposed of data concerning 49 stations of latitude above 50°, 11 of which were in the Southern Hemisphere. Moreover, we have used series of observations running for 11 to 12 years, registered by 6 well situated stations, and this for a double purpose : to check the "weight" which it was possible to give to a single year of recordings and to study the variations of the conditions of activity during a solar cycle. The whole of these data was more or less equivalent to 300 000 indices or to one hundred years of recordings.

The previous studies of activity used indices which were generally neither homogeneous nor expressed in an unity of magnetic field; an actual comparison between observatories is consequently difficult. In order to eliminate this defect, we have experimentally determined coefficients allowing the conversion of trihourly indices K, which are pure numbers, in trihourly absolute amplitudes in gammas. We have first noticed that the "geomagnetic field" parameter badly arranged the observatories between them; data by E.H. Vestine on the field in altitude enabled to use the latter as parameter, an altitude between 3000 and 5000 kms being chosen as the best.

The whole of the data on the trihourly absolute amplitudes in gammas led us, from an experimental point of view, to separate two distinct types of activity and enabled us to define their respective properties. In order to describe them, let us call these two types N activity (night maximum) and J activity (day maximum).

a - N activity

The main property of the N activity seems to be, rather than the latitude variation of the intensity of its average level, the latitude variation of the shape of its daily intensity-variation such as it is observed for all days. The latter comprises two aspects :

- 1 - The hour of its night maximum shows the greatest delay around 77° of inclination; this delay is mostly effective between 72° and 81° of inclination.
- 2 - The latitude variation of the intensity of its minimum level is different from the latitude variation of the amplitude of its daily variation; the maximum of intensity of the first, as well as the beginning of the rapid variation of this intensity (beginning counted from the lower inclinations) are displaced of 3 to 4° of inclination towards North in relation with the second; the curve-variation of the second is centered on the area of the greatest delay of the hour of the night maximum.

From the time-variation point of view of the properties of the N activity, two types may be distinguished :

- 1 - There exists no seasonal variation for the hour of the night maximum; as for the intensity of its average level, the only one existing is the well known variation which advantages the equinoxe in comparison with the two other seasons (winter, summer) roughly equivalent. On the contrary, the intensity of the minimum level of the activity countervaries the amplitude of its daily variation when winter and summer are compared.
- 2 - The enlargement of the auroral area, in period of great solar activity, is well shown by comparison of the intensity of the average level of the activity during calm days and disturbed days; the existence of this enlargement is also found in the minimum level of the activity and in the amplitude of its daily variation, the

* P. N. Mayaud, Expéditions Polaires Françaises, Terre Adélie, 1951-1952, Magnétisme Terrestre, fasc. I, Etudes des observations - Paris - 1954

same displacement being maintained between these two quantities. Lastly, the area which is the most sensitive, according to the intensity of the average level, to a very great change in the conditions of solar activity is nearly the same as the area where appears the greatest delay of the hour of the night maximum.

b - J activity

The brutality of the agitation observed in the recordings during the hours when the J activity is the strongest is the main quality of this activity. From a quantitative point of view, its main property seems to be the variation of the average level of its intensity which increases from winter to summer*; the J activity thus deviates on this first point from the N activity.

The expansion area of the J activity extends to the average latitudes, but it appears with a sufficient intensity to change the average level of the intensity or the whole activity - and consequently, to act on its seasonal variation - only inside the isoclines of 81° . Its maximum of intensity which occurs around the local magnetic noon, at about 85° of inclination, moves then very fastly towards morning hours when latitude decreases (about 6 a.m. at 81° of inclination); on the outer ridge of the auroral area (where it reappears towards 74° to 75° of inclination), it occurs towards 3 to 4 p.m. local time; lastly, at the average latitudes, it occurs between 1 and 3 p.m. As well from the point of view of localization - that is the area of greater intensity - as from the point of view of phase variation in latitude, this J activity is consequently different from the N activity.

A third difference exists between these two types of activity : the variation of the intensity of the J activity in relation to the solar activity is not the same as that of the N activity. This fact, which is already apparent when studying the average level of intensity for all days, appears still better when comparing disturbed days and calm days, and this in two ways : either by the study of the latitude variation of the ratio of the intensity of the average level of disturbed days to the intensity of the average level of calm days, or by the comparison of the intensities of the average level of the J activity at the different seasons during calm days and disturbed days.

These conclusions plainly show the difference between the N and J activities and induce to think that they cannot be attributed to the same mechanism of corpuscular origin. Consequently, we have endeavoured to find if it was possible to explain the difference from a theoretical point of view.

In the case of the J activity, we have started from the conditions of the neutral corpuscular front at the time of its advance towards earth, such as they are described in the theory of Chapman-Ferraro. We show that the properties of the J activity inside the auroral area may be explained by the "horns" which are formed in the front at the places where the field resulting from the composition of the earth-dipole field and of its image in the front is null. Its existence outside this area would be caused by a progressive transport towards the average latitudes of the disturbance created inside the area.

In the case of the N activity, we try to show to which extent the experimental results, which concern mainly "all days" may be interpreted by an "equatorial ring" type schema. Moreover, the superiority of the field in altitude over the geomagnetic field to "arrange" in latitude and longitude the data of magnetic activity - superiority which is confirmed by a comparison between the shape of the "isoclines" in altitude and of the "isochasmes" of maximum auroral frequency - is interpreted as giving an account of the difference which exists between real field and geomagnetic field at distances from earth of the order of several earth radii; in fact, at these distances, the isoclines system of the real field is distorted and displaced in relation to the isoclines system of the geomagnetic field, and this in proportions which are not negligible.

* Boreal or austral are understood concerning the Northern or Southern Hemisphere; moreover the properties defined here are generally valid for the two hemispheres.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit basiert auf einem Aufenthalt in der Forschungsstation in der Antarktis auf Terre Adélie. Während des Jahres 1951-1952 haben wir dort die Schwankungen des magnetischen Feldes * registriert und ständig tagsüber eine magnetische Bewegung festgestellt, deren Stärke vom Winter bis zum Sommer zunimmt. Die Untersuchung dieser Erscheinung hat uns dazu geführt, systematisch beinahe alle früheren Registrierungen aus den Polgebieten zu untersuchen. Für die Analyse all dieser Aufzeichnungen haben wir die K Kennziffer gewählt und haben persönlich beinahe 25 Jahre Registrierungen verschiedenster Quellen ausgewertet. Zusammen mit den bereits veröffentlichten Kennziffern standen uns so die Unterlagen von 49 Beobachtungsstationen zur Verfügung, alle in Breiten über 50°, und 11 in der südlichen Halbkugel. Ausserdem haben wir Beobachtungsreihen von 11 bis 12 Jahren von sechs günstig gelegenen Stationen in zweifacher Absicht untersucht : Um festzustellen welches "Gewicht" den Registrierungen eines einzigen Jahres zugemessen werden kann, und um die Änderungen der Bedingungen der Aktivität während eines Umlaufes der Sonne zu untersuchen. Alle diese Unterlagen entsprechen ungefähr einer Zahl von 300 000 Kennziffern oder den Aufzeichnungen von etwa 100 Jahren Beobachtungen.

Die früheren Untersuchungen der magnetischen Aktivität verwendeten Kennziffern die im allgemeinen weder homogen noch in Einheiten des magnetischen Feldes ausgedrückt waren; auf diese Weise ist ein wirklicher Vergleich zwischen verschiedenen Beobachtungsstellen schwierig. Um diesen Fehler auszuschalten, haben wir durch Versuche Koeffizienten festgestellt, mit denen die dreistündlichen K Kennziffern, welche reine Zahlen darstellen, in absolute dreistündige Amplituden in Gamma umgerechnet werden können. Wir haben zuerst festgestellt dass der Parameter "erdmagnetisches Feld" die Beobachtungsstationen schlecht untereinander ordnet ; die Daten von E. H. Vestine über das Magnetfeld in grösseren Höhen haben erlaubt, dieses letztere als Parameter zu verwenden, wobei eine Höhe von 3 000 bis 5 000 km am günstigsten ist.

Das vollständige Beobachtungsmaterial über die absoluten dreistündigen Amplituden in Gammas haben uns dazu geführt, rein experimental zwei verschiedene Arten von Aktivitäten zu unterscheiden und ihre Eigenschaften zu definieren. Diese beiden Aktivitäten bezeichnen wir als N Aktivität (Nachtmaximum) und J Aktivität (Tagesmaximum).

a - Die N Aktivität

Die hervorstechende Eigenschaft dieser N Aktivität scheint weniger die Breitenänderung der mittleren Stärke, als die Breitenänderung der Form der täglichen Abweichung der Stärke wie sie tagtäglich beobachtet wird, zu sein. Diese Änderung weist zwei Erscheinungsformen auf :

- 1 - Die Stunde seines nächtlichen Maximums weist die grösste Verspätung bei einer Neigung von etwa 77° auf, diese Verspätung tritt vor allem zwischen 72 und 81° Neigung auf.
- 2 - Die Breitenänderung der Stärke seines Minimums stimmt nicht mit der Breitenänderung der Amplitude seiner täglichen Abweichung überein; die grösste Stärke der esteren sowie der Anfang der starken Änderung dieser Stärke (wobei der Anfang von den geringeren Neigungen an gerechnet ist) sind 3 bis 4 Neigungsgrade nach Norden gegenüber der zweitgenannten Änderung verschoben ; diese zweite konzentriert sich in der Gegend der grössten Verspätung der Stunde des nächtlichen Maximums.

Was die zeitliche Änderung der Eigenschaften der N Aktivität anbelangt, so kann man zwei Arten unterscheiden :

- 1 - Die Stunde des nächtlichen Maximums ist keiner jahreszeitlichen Änderung unterworfen ; im Hinblick auf die mittlere Stärke ist die bekannte Änderung zu verzeichnen, die einen Vorteil für die Tag-und-Nachtgleiche gegenüber den anderen Jahreszeiten (Winter, Sommer) ergibt, die Mittelwerte dieser letzteren Jahreszeiten

* P. N. Mayaud, Expéditions Polaires Françaises, Terre Adélie 1951-1952, Magnétisme Terrestre, Fasc. I, Etudes des Observations - Paris - (1954).

sind dabei gleich. Dagegen schwankt die Stärke des Minimums der Aktivität im entgegengesetzten Sinne der Amplitude seiner täglichen Änderung wenn man Winter und Sommer vergleicht.

- 2 - Die Ausweitung der Nordlichtzone in der Zeit grosser Sonnenaktivität geht gut aus dem Vergleich der mittleren Stärke der Aktivität während der ruhigen und der gestörten Tage hervor. Die Existenz dieser Ausweitung wird auch für die Minimalstärke der Aktivität und für die Amplitude der täglichen Änderung festgestellt, wobei zwischen diesen beiden Werten dieselbe Verschiebung wie oben besteht. Schliesslich ist die Gegend die in der mittleren Stärke am empfindlichsten auf eine starke Änderung der Bedingungen der Sonnenaktivität reagiert, ungefähr die gleiche in der auch die grösste Verspätung der Stunde der grössten Nachtstärke auftritt.

b - Die J Aktivität

Diese Aktivität zeichnet sich aus vor allem durch die Brutalität der Bewegungen die man in den Registrierungen während den Stunden in denen die J Aktivität vorherrscht, feststellt. Mengenmässig betrachtet scheint die hervorstechende Eigenschaft die Änderung der mittleren Stärke zu sein die vom Winter gegen den Sommer* zunimmt; die J Aktivität unterscheidet sich somit in diesem ersten Punkt von der N Aktivität.

Die Ausdehnungsfläche der J Aktivität erstreckt sich bis zu den mittleren Breiten, erscheint aber in einer genügenden Stärke um die mittlere Stärke der gesamten Aktivität zu beeinflussen, - und somit seine jahreszeitliche Änderung zu beeinflussen - nur innerhalb der Isoklinen von 81° . Die Maximalstärke tritt in der Nähe des örtlichen magnetischen Mittags bei ungefähr 85° Neigung auf und verschiebt sich dann schnell nach den Morgenstunden zu, wenn man in der Breite heruntergeht (gegen 6 Uhr morgens bei 81° Neigung); am äusseren Rande der Nordlichtzone (sie erscheint dort erneut gegen 74 bis 75° Neigung) tritt sie gegen 15 oder 16 Uhr örtlicher Zeit auf; schliesslich auf mittleren Breiten findet man sie zwischen 13 und 15 Uhr. Sowohl im Hinblick auf die örtliche Lage - d.h. die Gegend der grössten Stärke - als auch im Hinblick auf die Breitenänderung der Phase unterscheidet sich also diese J Aktivität von der N Aktivität.

Diese beiden Typen der Aktivität unterscheiden sich auch noch in einer dritten Weise: die Stärkenänderung der J Aktivität in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität folgt nicht derselben Gesetzmässigkeit wie für die N Aktivität. Diese Tatsache tritt bereits bei der Untersuchung der mittleren Stärke für alle Tage in Erscheinung, wird aber noch deutlicher bei einem Vergleich der gestörten Tage mit den ruhigen Tagen, und zwar auf zweierlei Weise: entweder durch eine Untersuchung der Breitenänderung des Verhältnisses der mittleren Stärke der gestörten Tage zu derjenigen der ruhigen Tage oder auch durch einen Vergleich der mittleren Stärken der J Aktivität in den verschiedenen Jahreszeiten für ruhige und gestörte Tage.

Diese Schlussfolgerungen weisen deutlich auf den Unterschied zwischen der J Aktivität und der N Aktivität hin und man ist geneigt anzunehmen, dass sie nicht auf dieselben Ursachen der Teilchenstrahlung zurückzuführen sind. Wir haben deshalb versucht diese Unterschiede theoretisch zu erklären.

Im Falle der J Aktivität sind wir von den Bedingungen der Front der neutralen Teilchen ausgegangen, und zwar im Augenblicke der Annäherung an die Erde so wie sie in der Theorie von Chapman-Ferraro dargestellt sind, und zeigen auf dass die "Hörner", die sich in der Front an den Stellen bilden wo das aus der Überlagerung des Feldes des Erddipoles und seiner Abbildung in der Front sich ergebende resultierende Feld Null wird, die Eigenschaften der J Aktivität im Inneren der Nordlichtzone zu erklären gestatten. Seine Existenz ausserhalb dieser Zone erklärt sich dann durch eine allmähliche Fortpflanzung, nach mittleren Breiten hin, der im Innern der Zone entstandenen Störung.

Was die N Aktivität anbelangt, so versuchen wir zu zeigen dass sich die Beobachtungsergebnisse, die sich vor allem auf "alle Tage" ermittelte Daten beziehen, in gewissem Masse durch ein Schema von der Art eines "äquatorialen Ringes" interpretieren lassen. Die Superiorität des Feldes in Höhenlage über das erdmagnetische Feld zur Breitenordnung und Längenordnung der Daten der magnetischen Aktivität - diese Superiorität ergibt sich auch aus einem Vergleich der Form der Isoklinen in Höhenlage und der Isochasmen der höchsten Nordlichtfrequenz - ist als Anzeichen dafür gewertet dass in einer Entfernung von der Erde von der Grössenordnung einiger Erdradien eine Abweichung zwischen dem wirklichen Feld und dem erdmagnetischen Feld besteht; in der Tat ist in diesen Entfernungen das System der Isoklinen des wirklichen Feldes gegenüber dem System der Isoklinen des erdmagnetischen Feldes in einem nicht zu vernachlässigenden Masse verschoben und verzerrt.

* Die jahreszeitlichen Angaben verstehen sich immer entweder für die nördliche oder die südliche Halbkugel sinngemäss, im Übrigen gelten die hier festgelegten Eigenschaften im allgemeinen für die beiden Halbkugeln.

LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES*

N	Onde d'activité magnétique ayant son maximum de nuit et prépondérante sur la majeure partie du globe.	13
J	Onde d'activité magnétique ayant son maximum de jour et localisée à l'intérieur de la zone aurorale.	13
K	Indice d'activité.	
K_p	Indice planétaire d'activité.	
S_q	Variation journalière du champ magnétique pendant les jours calmes.	
a	Amplitude tri-horaire absolue de la variation des 3 composantes magnétiques.	17
A_p	Amplitude moyenne journalière planétaire d'activité.	
a_i	Amplitudes tri-horaires moyennes d'activité de chacun des intervalles tri-horaires de la journée.	20
A	Moyenne des huit a_i ; représente le niveau moyen d'intensité de l'activité.	21
M_N	Heure, en temps universel, du maximum d'intensité de l'activité N .	21
M_J	Heure, en temps universel, du maximum d'intensité de l'activité J .	21
m	Heure, en temps universel, du minimum d'intensité de l'activité.	21
a_{min}	Valeur minimum des huit a_i journaliers; représente l'intensité du niveau minimum de l'activité et est appelée "fond continu d'activité".	21
a_{max}	Valeur maximum des huit a_i journaliers; peut se référer soit au maximum de l'activité N , soit à celui de l'activité J .	21
$a_{max} - a_{min}$	Représente "l'amplitude de la variation journalière de l'activité".	21
j	Solstice de juin (mai, juin, juillet, août).	
e	Equinoxe (mars, avril, septembre, octobre).	
d	Solstice de décembre (janvier, février, novembre, décembre).	
A_j, A_e, A_d, A_y	Valeurs saisonnières ou annuelle de la quantité A .	21
φ	Latitude géographique.	
λ	Longitude géographique.	

* La référence à la page indique l'endroit où ces symboles sont définis, quand ils ne correspondent pas à des notations classiques.

Φ	Latitude géomagnétique.	
Λ	Longitude géomagnétique.	
I	Inclinaison géomagnétique.	
I'	Inclinaison du champ magnétique en altitude.	
ψ	Déclinaison géomagnétique.	
ψ'	Déclinaison du champ magnétique en altitude.	
Γ	Heure en temps universel du minuit géomagnétique.	38
Γ'	Heure en temps universel du minuit magnétique en altitude.	41
$M_N - \Gamma$	Heure géomagnétique locale du maximum de l'activité N .	
$M_N - \Gamma'$	Heure magnétique (en altitude) locale du maximum de l'activité N .	
$m - \Gamma'$	Heure magnétique (en altitude) locale du minimum d'activité.	
$M_J - \Gamma'$	Heure magnétique (en altitude) locale du maximum de l'activité J .	

INTRODUCTION

1 - Agitation magnétique dans les régions polaires

Au cours de notre hivernage à Port-Martin, où nous étions chargés de l'étude du champ magnétique terrestre (1)*, notre attention a été rapidement attirée par deux traits morphologiques que présentaient, d'une manière assez saillante, les enregistrements de ses variations.

D'un côté, nous pouvions remarquer l'existence de baies relativement nombreuses, en général de forme très régulière et la plupart du temps nocturnes; de plus, si, au cours d'une nuit, nous avions observé des formes aurorales au zénith ou du moins assez hautes sur l'horizon (le plus souvent, les aurores étaient assez basses sur l'horizon Nord-Est, du fait que Port-Martin est situé nettement à l'intérieur de la zone aurorale); nous pouvions voir sur l'enregistrement magnétique correspondant une baie, non plus régulière, mais complètement déformée par de grandes oscillations. D'ailleurs toutes les formes intermédiaires existaient entre les baies très régulières, et ces baies à grandes oscillations.

D'un autre côté, phénomène beaucoup plus saillant encore, nous voyions apparaître sur les enregistrements autour du midi local, même par situation magnétique relativement calme, une agitation persistante, d'un aspect morphologique extrêmement différent de celui que présentent les baies. La figure 1, qui donne la reproduction des enregistrements des 7 et 8 août, 27 et 28 août, permet d'apprécier cette différence. Les deux premiers jours correspondent à une période relativement calme magnétiquement : on voit cependant de 22 h à 6 h TU, c'est-à-dire, à peu près de 8 h à 16 h locales, la situation calme faire place brusquement à une agitation moyenne, formée d'oscillations de courte période, qui ne rappellent en rien le genre de perturbation en baies qui se produit, vers 11 h TU, le 7 août. Les deux autres jours correspondent à une période moyennement agitée; on peut remarquer que, de 22 h à 6 h TU, l'aspect des courbes est nettement différent de ce qu'il est aux autres heures, en ce sens que l'agitation est beaucoup plus brutale. Nous avons observé l'augmentation de cette agitation diurne quand le printemps arriva; en été, elle devenait telle que l'aspect des enregistrements, à ces heures privilégiées, devenait extrêmement embrouillé. De plus, sur l'enregistrement de déclinaison à déroulement classique de 15 mm/heure, à cette agitation de grande amplitude, se superposaient très fréquemment des pulsations rapides manifestées par un élargissement du trait photographique transformé en plage diffuse. Nous avons souvent observé ces pulsations au Q.H.M.; elles apparaissaient comme essentiellement irrégulières en ce sens qu'il nous arrivait de voir le réticule, dans la lunette de visée, démarrer très brusquement comme si nous avions nous-mêmes donné une impulsion à l'aimant; mais, au lieu d'observer alors le type d'oscillations classiques après une telle impulsion, nous voyions une série d'oscillations irrégulières, comme si d'autres impulsions étaient sans cesse imposées à l'aimant. Il était évident que le mouvement de l'aimant ne retraçait pas exactement les variations très rapides du champ; mais ceci montrait du moins très clairement que, simultanément à l'agitation de grande amplitude observée sur les enregistrements, existaient des pulsations très violentes.

* Les chiffres entre parenthèses renvoient à la Bibliographie à la fin de l'ouvrage.

Ces différents aspects de nos enregistrements de Port-Martin nous posaient deux questions. La première, relative aux baies, s'était imposée avec plus de force encore quand, au cours d'un arrêt à Melbourne avant notre retour en France, nous avons pu constater une excellente corrélation entre les baies de Port-Martin et celles de Toolangui, ceci malgré la distance qui sépare ces deux stations, situées de part et d'autre de la zone aurorale antarctique et à peu près sur le même méridien. Lorsque nous avons été à même d'étudier les enregistrements originaux de Cap Evans, station antarctique occupée en 1902-1903 et 1911-1912, la deuxième question relative à l'agitation de jour a pris à nos yeux une importance accrue. Cette importance s'est confirmée lorsque nous avons pu longuement regarder les originaux des deux stations arctiques de Godhavn et Thulé et que, simultanément, nous prenions connaissance des principaux travaux relatifs à l'activité magnétique dans les régions polaires, effectués par J. M. Stagg et A. P. Nikolsky. En effet ces deux auteurs avaient, l'un et l'autre, reconnu l'existence des deux types d'agitation; mais comme leurs conclusions divergeaient partiellement tant dans la définition des propriétés de ces phénomènes que dans l'interprétation qu'ils en proposaient, nous avons été conduits à reprendre la même étude pour essayer de préciser leurs résultats, et par là même, répondre autant que possible aux questions qui nous étaient posées par les enregistrements de Port-Martin, et plus spécialement à celle-ci: l'agitation de jour est-elle un phénomène différent de l'agitation de nuit?

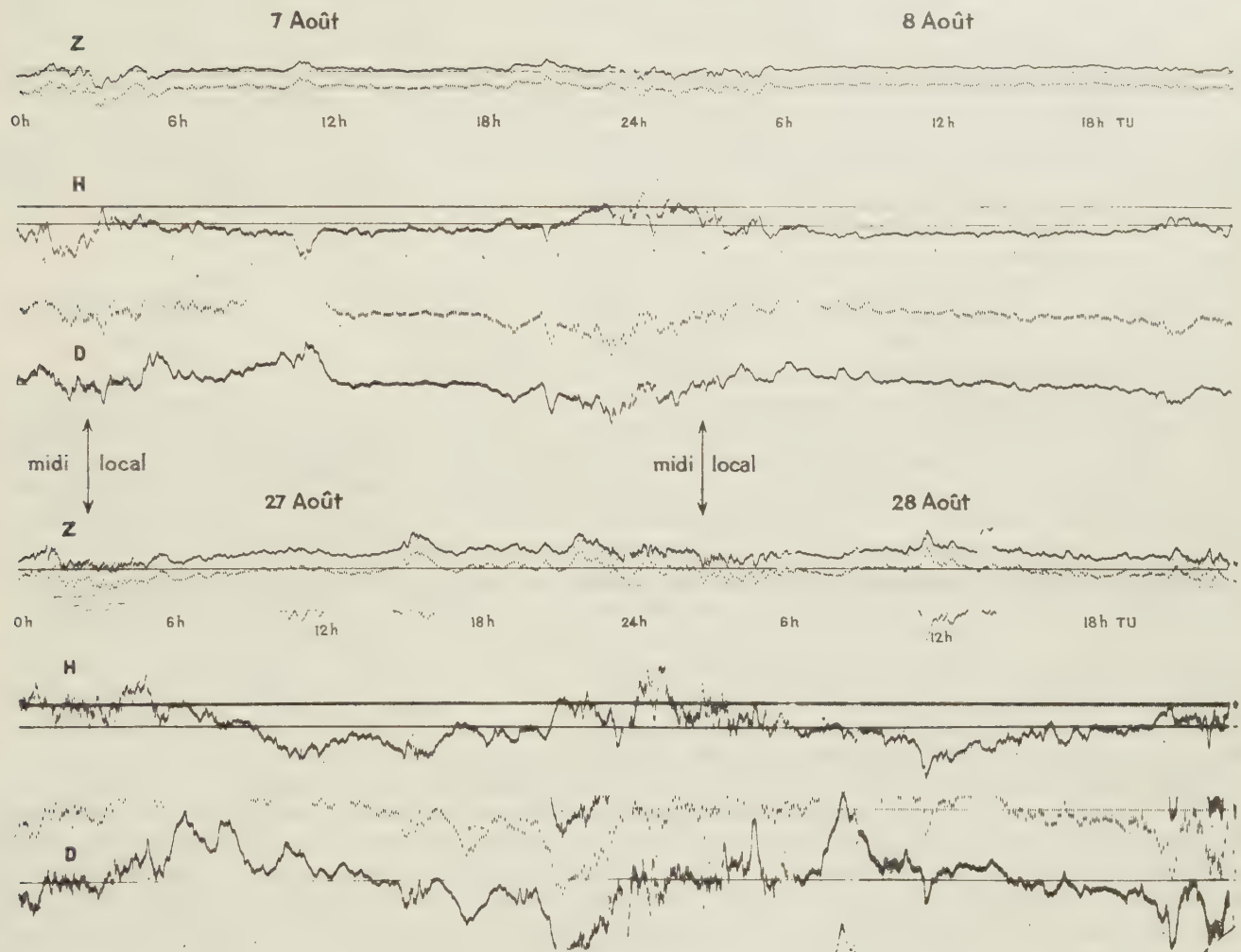
Avant d'exposer sommairement "l'état de la question", il ne sera pas inutile de définir ce que l'on entend par activité, c'est-à-dire, de préciser l'angle sous lequel sont abordés les enregistrements magnétiques dans un tel genre d'études. En effet, il est impossible d'en rester, malgré leur intérêt à nos yeux, aux considérations qualitatives que nous avons faites ci-dessus. Il sera nécessaire de choisir un mode d'analyse des enregistrements susceptible de fournir des données quantitatives sur l'agitation, c'est-à-dire sur l'amplitude des mouvements divers des enregistrements et sur la rapidité avec laquelle ces mouvements s'effectuent. Supposons que l'on ait choisi des intervalles de temps constants et que l'on détermine l'amplitude absolue de la variation au cours de chacun de ces intervalles; on voit alors comment la rapidité de la variation risque d'être mal définie par ce procédé puisque, au cours d'un intervalle donné, beaucoup d'enregistrements à agitation cependant très différente peuvent répondre à la même valeur d'amplitude. Si l'utilisation statistique de telles données atténue ce défaut, il reste important d'être conscient qu'un tel mode d'analyse nous éloigne considérablement du phénomène premier.

Et cependant, dans la mesure où nos connaissances sur l'agitation magnétique dans les régions polaires restent encore très imprécises, il est sans doute préférable, pour débrouiller le problème, de l'attaquer sous cet angle statistique de l'activité plutôt que de l'aborder par une étude individuelle des variations rapides, qui consisterait à comparer directement entre eux les enregistrements simultanés des diverses stations. Car pour pouvoir répondre à la question précédente, il nous faut connaître les propriétés générales de ces deux types d'agitation. Plus précisément, nous devons déterminer d'une part les lois de leur variation journalière (ou variation en longitude) - si et comment cette variation se déforme au cours des saisons ou au cours du cycle solaire -, et d'autre part les lois de leur variation en latitude - si ces deux types d'agitation existent partout et surtout comment ils varient en intensité d'un lieu à un autre.

2 - Etat de la question

J. M. Stagg et A. P. Nikolsky avaient cherché, par cette méthode de l'activité magnétique, à définir les propriétés de l'agitation magnétique dans les régions polaires. Le premier, après la II^{ème} Année Polaire Internationale, a étudié la variation de l'intensité de l'activité dans l'espace pour des latitudes géomagnétiques supérieures à 50° (2). Il a utilisé l'indice d'activité C_n qui avait été publié par un certain nombre d'observatoires. Cet indice cherchait à atteindre de la manière suivante la variation d'énergie magnétique au sol. F représentant l'intensité du vecteur champ, la variation d'énergie est proportionnelle à $\Delta F^2 = 2F \Delta F$. L'unité différentielle choisie était la journée de 24 heures; ceci peut fortement prêter à la critique, car il est bien certain que l'agitation présente des mouvements irréguliers dont la période est bien inférieure à 24 heures. D'autre part la quantité F^2 , qui peut s'écrire $H^2 + Z^2$, étant différenciée suivant la forme $H\Delta H + Z\Delta Z$, les quantités différentielles ΔH et ΔZ étaient traduites par la mesure de l'amplitude absolue journalière de variation

des composantes H et Z; comme de telles quantités ne sont qu'une approximation de la définition mathématique d'une différentielle, et que de plus, les maximum ou minimum journaliers de H et Z ne sont pas nécessairement synchrones dans le temps, on voit mal ce qu'une telle utilisation de l'expression $H\Delta H + Z\Delta Z$ conserve de la notion visée de variation d'énergie magnétique. Dans ces



Reproduction d'enregistrements magnétiques de Port-Martin. Les heures indiquées sont en temps universel.
Les valeurs d'échelle de Z, H et D sont de l'ordre de 50, 20 et 15 γ par mm.

Figure 1

conditions, on peut se demander dans quelle mesure l'expression, où sont associés champ moyen et variations rapides irrégulières, est significative du phénomène étudié; en effet, il faudrait pour cela que les variations rapides irrégulières du champ soient dues à des causes intérieures à la surface de la terre, au même titre que le champ moyen. Or, il n'en est pas ainsi puisqu'on admet que les variations rapides du champ sont dues à un agent extérieur à la terre, de forme corpusculaire; certes, cet agent sera orienté par les lignes de force du champ terrestre et il restera justifié de chercher une relation entre la latitude magnétique et l'activité; mais on ne voit pas de raison pour associer dans une mesure d'activité le champ moyen dû à des causes intérieures à la terre et les variations de ce champ dues à des causes extérieures. Quoi qu'il en soit des imperfections de cet indice, imperfections dont J. M. Stagg était d'ailleurs conscient, il lui permettait de construire

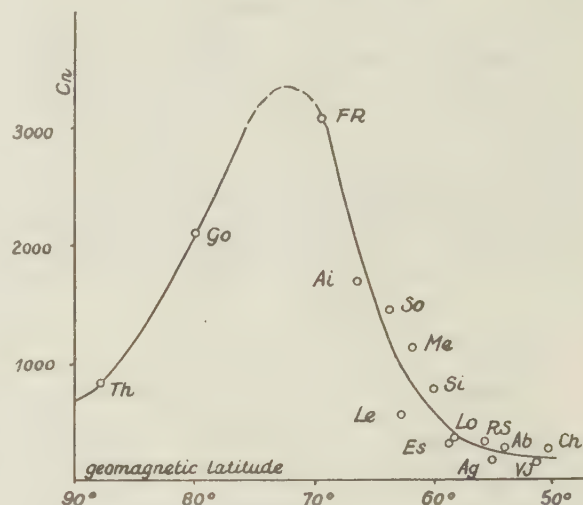
la courbe reproduite dans la figure 2; celle-ci donne la variation de C_n en fonction de la latitude géomagnétique. 15 stations sont utilisées dont 3 seulement ont une latitude géomagnétique supérieure à 70° . La forme de la courbe est évidemment hypothétique au-dessus de 70° , à cause du trop petit nombre de stations; et, à regarder les écarts importants qui existent entre certains points expérimentaux et la courbe dans la région de latitude inférieure à 70° , on peut se demander ce qui arriverait si un plus grand nombre d'observatoires était utilisé aux hautes latitudes. D'ailleurs J. M. Stagg, s'interrogeant sur ces écarts, pense qu'ils pourraient être attribués à des effets d'induction locale, ou même, à un moindre titre, à des différences dans les techniques d'enregistrement.

Dans une autre étude (3), J. M. Stagg étudiait la variation journalière de l'activité. Il est évident que pour cela, il est nécessaire de disposer d'un caractère d'activité défini, non plus comme le précédent pour la journée entière, mais pour un intervalle plus petit. Ne possédant pas les enregistrements originaux des 10 stations qu'il étudiait, il lui fut impossible de standardiser le mode d'analyse des enregistrements. L'intervalle de temps pour lequel le caractère était défini, était l'intervalle horaire. Son expression consistait en une mesure différentielle d'énergie analogue à celle du caractère C_n , ou en une appréciation qualitative (cotée 0, 1 ou 2) de l'agitation, ou encore dans la recherche de la fréquence des heures perturbées. D'autre part, les documents n'étaient pas homogènes dans le temps. Sa conclusion principale est que la variation journalière de l'activité est essentiellement contrôlée par le temps local. Au-dessus de la latitude géomagnétique $\Phi = 70^\circ$, le maximum de l'activité est unique et a lieu dans la soirée; se produisant au minuit local à 70° , il se déplace vers le soir de 1 heure par tranche de 5° de latitude décroissante. Au-dessus de 80° , le maximum prépondérant a lieu dans la matinée et son intensité est beaucoup plus grande en été qu'en hiver; un maximum de nuit, inexistant en été, a tendance à apparaître en hiver. Dans la zone intermédiaire, les deux maxima ont lieu en toute saison.

Nous reconnaissons évidemment dans le maximum diurne de la zone de latitude supérieure à 80° l'agitation de jour dont nous avons donné une description qualitative pour Port-Martin; dans la mesure où, comme nous le verrons plus tard, le maximum nocturne peut de son côté être attribué aux baies, nous voyons qu'une analyse des enregistrements par une méthode de mesures d'activité peut effectivement nous apporter des renseignements sur les deux types d'agitation. Toujours est-il que J. M. Stagg, à la fin de son étude, remarquant l'importance de la variation saisonnière de l'intensité de l'agitation de jour, l'associe à une propriété caractéristique des régions de haute latitude à savoir, la variation très importante des conditions d'éclairement solaire de l'hiver à l'été. En conséquence, il émet l'hypothèse que le changement de phase entre l'agitation sur la zone aurorale (maximum nocturne) et l'agitation à l'intérieur de la zone aurorale (maximum diurne) peut être interprété par la fermeture, à l'intérieur de la zone aurorale, d'une partie des courants coulant sur la zone aurorale; la variation saisonnière de l'intensité de l'agitation à l'intérieur de la zone aurorale serait due, dans ces conditions, à la variation saisonnière des conditions de conductibilité, et donc consécutive de la variation saisonnière des conditions d'éclairement solaire. Dans la pensée de J. M. Stagg, les deux types d'agitation sont donc étroitement liés et ne forment qu'un seul et même phénomène.

A. P. Nikolsky a repris après J. M. Stagg, dans deux études successives (4), la seule question de la variation journalière de l'activité magnétique. Il utilise d'une part les mêmes documents que J. M. Stagg, analysés selon les mêmes procédés, et d'autre part une série de documents provenant d'une dizaine d'autres observatoires et analysés en prenant comme caractère horaire de l'activité, soit la longueur du tracé sur l'enregistrement de déclinaison, soit l'amplitude absolue de la déclinaison. Cet ensemble de nouveaux documents n'est pas non plus homogène dans le temps.

Relativement au maximum nocturne, A. P. Nikolsky retrouve la même loi que J. M. Stagg, à savoir que, en temps local, le maximum nocturne qui se produit vers minuit pour des latitudes



13 Polar Year Months

Variation de l'activité magnétique en fonction de la latitude magnétique d'après J. M. Stagg.

Figure 2

géomagnétiques de 70° se déplace vers le soir pour des latitudes plus basses; il remarque de plus que la même tendance à se déplacer vers le soir existe pour des latitudes supérieures à 70°; enfin, les écarts à cette loi sont un peu réduits en utilisant le temps géomagnétique local au lieu du temps géographique local. Relativement au maximum diurne, il trouve des résultats assez différents; d'une part ce maximum existerait non seulement au-dessus de 70°, mais aussi jusque vers 62° de latitude; d'autre part, il ne serait pas contrôlé par le temps local, mais par le temps universel. Plus précisément, et ce nouveau résultat semble assez inattendu, il trouve que dans ce qu'il appelle l'hémisphère occidental, entre les longitudes 90°E et 270°E, ce maximum se produit quelle que soit la latitude vers 16-17 h TU; par contre, dans l'hémisphère oriental, entre les longitudes 270°E et 90°E, il se produit à 21.5 h TU pour une latitude de 62°, et, lorsqu'on monte vers le Nord, il se produit de 0.7 à 0.8 h plus tard par tranche de latitude de 1°. Dans les régions intermédiaires, A. P. Nikolsky pense trouver sur les courbes de variation journalière plusieurs maxima du type diurne qui correspondraient à ces zones de transition*. De ce résultat, il conclut qu'il y a une différence fondamentale entre les deux types d'agitation diurne et nocturne et pense qu'il faut leur assigner des causes différentes.

3 - Plan général

Dans ce bref résumé des travaux de J. M. Stagg et A. P. Nikolsky, nous avons volontairement souligné les divergences entre leurs conclusions parce que, comme nous l'avons déjà dit, ce sont ces divergences qui nous ont incité à entreprendre une étude plus complète de l'activité magnétique dans les régions polaires. Mais, si la lecture de leurs travaux nous a convaincus de la possibilité d'obtenir des renseignements intéressants sur la question de la différence entre l'agitation de jour et l'agitation de nuit par une étude statistique de l'activité, nous avons été non moins convaincus qu'il était absolument nécessaire :

- d'utiliser plus systématiquement que ces auteurs l'ensemble des documents magnétiques polaires;
- de descendre en latitude plus bas que 60° pour déterminer si l'agitation de jour décelée par A. P. Nikolsky jusqu'à 62° s'arrêtait bien à une telle latitude;
- et surtout, de rendre homogènes toutes les données d'activité utilisées en choisissant ou en adaptant un caractère convenable et en effectuant au besoin nous-mêmes les mesures d'activité sur les enregistrements polaires non analysés avec ce caractère.

Le fait de dépouiller des années d'enregistrements, provenant de nombreux observatoires différents, présentait d'ailleurs l'avantage de nous donner une expérience des divers aspects morphologiques qu'ils possédaient; dans la mesure où ces aspects morphologiques seront plus ou moins effacés par les mesures d'activité, cette expérience a souvent été précieuse dans l'interprétation de ces mesures.

Dans cette étude, afin de simplifier le langage, nous appellerons activité N l'activité dont l'heure du maximum est nocturne, et activité J celle dont l'heure du maximum est diurne. Nous chercherons d'abord à définir un caractère d'activité qui remplisse les conditions esquissées ci-dessus (chapitre I). Nous dresserons un tableau d'ensemble des documents utilisés et de leur provenance, et présenterons succinctement, à l'aide de quelques graphiques, la forme prise par le phénomène de l'agitation magnétique quand il est traduit en données d'activité (chapitre II). Cherchant à étudier la variation dans l'espace de ce phénomène, nous devons choisir un paramètre susceptible de l'ordonner; or, nous constaterons que le paramètre "champ géomagnétique" ordinairement utilisé est insuffisant pour ce but, et montrerons que le paramètre "champ magnétique en altitude" ordonne mieux le phénomène (chapitre III). A l'aide de ce nouveau paramètre, nous

*D'ailleurs on peut se demander si l'interprétation que A. P. Nikolsky a faite des courbes saisonnières de variation journalière n'est pas parfois erronée. Ces courbes sont constituées à partir de 24 points expérimentaux, provenant chacun de la moyenne de 120 nombres, et elles ont été tracées et utilisées sans aucun procédé d'adoucissement. Ceci pose la question de savoir si tel ou tel léger maximum secondaire est bien significatif.

préciserons d'abord la loi de la variation en latitude de la phase de l'activité N (chapitre IV), puis celle de la phase de l'activité J, et dans ce dernier cas, nous chercherons à déterminer si la latitude de 62° donnée par Nikolsky est bien une limite inférieure du domaine de ce type d'activité (chapitre V). Enfin, nous étudierons la loi de la variation en latitude de l'intensité des deux types d'activité N et J (chapitre VI).

Cette étude expérimentale nous ayant conduits à la conclusion que les deux types d'activité N et J sont différents, nous essaierons de donner une interprétation théorique de l'activité J (chapitre VII), puis nous comparerons aux théories existantes les résultats obtenus pour l'activité N (chapitre VIII).

PREMIÈRE PARTIE

ÉLABORATION ET ANALYSE DES DONNÉES D'ACTIVITÉ

Chapitre I

INDICE K ET AMPLITUDE TRI-HORAIRE α EN GAMMAS

Depuis une quinzaine d'années, l'indice K, conçu par J. Bartels (5), a commencé à remplacer les autres caractères d'activité utilisés jusqu'alors. Il est pratiquement adopté par la majorité des observatoires actuels, et, dans plusieurs cas, a été utilisé pour mesurer des enregistrements antérieurs à son adoption définitive. Plus particulièrement, et ceci est capital pour notre étude, la majorité des enregistrements de la IIème A.P.I. ont été récemment dépouillés avec cet indice. Celui-ci se trouve donc remplir une des conditions que nous avons indiquées précédemment : la nécessité d'utiliser des enregistrements provenant de nombreuses stations et dépouillés avec le même caractère d'activité. Nous devons donc chercher à l'employer. Dans quelle mesure répond-il au but visé ?

1.1. - L'indice K

Pour bien comprendre la forme sous laquelle se présente cet indice, il faut rappeler l'objectif que J. Bartels s'était assigné. Le caractère universellement utilisé avant l'indice K était le caractère C. Celui-ci consistait en une appréciation qualitative de l'agitation de chaque journée de 24 heures, qui était cotée 0, 1 ou 2, suivant l'estimation de l'observateur. Deux critiques principales pouvaient être faites à cet indice : l'introduction d'une mesure qualitative où peut entrer un facteur "équation personnelle" de l'observateur, et le choix d'une unité de temps relativement trop grande. Par contre, si cette estimation qualitative était susceptible de donner une bonne estimation de la rapidité de l'agitation, l'échelle à 3 nombres seulement pouvait sembler bien étroite pour qualifier toute la gamme de l'agitation. Quoiqu'il en soit, ce caractère permettait la définition d'un caractère universel d'activité, obtenu par la moyenne des caractères quotidiens C de tous les observatoires.

J. Bartels a cherché à imaginer un caractère capable d'atteindre ce même but, mais ne prêtant plus aux critiques précédentes, c'est-à-dire un caractère basé sur une mesure quantitative, définie pour une unité de temps plus courte que la journée et possédant une échelle de variation plus grande que 0,1 et 2. Cependant, par là même, deux conditions nouvelles lui étaient imposées. D'une part, comme il existe, en fonction de la latitude, une variation d'intensité de l'agitation, il était nécessaire de corriger par un facteur convenable les mesures quantitatives faites à chaque observatoire, en sorte que cette variation en latitude de l'intensité de l'agitation soit éliminée dans la définition du caractère universel de l'agitation. D'autre part, il fallait trouver un indice dont la publication soit simple pour qu'il puisse être réellement utilisé sur un plan international; ceci éliminait, par exemple, le choix de l'intervalle horaire comme unité de temps, parce que nécessitant 24 nombres pour chaque jour, et de plus imposait l'emploi d'un code symbolique permettant de réduire le nombre représentant la mesure quantitative exacte à un seul signe ou chiffre.

Pour satisfaire à ces différentes conditions, J. Bartels choisit comme unité de temps l'intervalle tri-horaire. Il retient, comme mesure quantitative exacte d'agitation, l'amplitude absolue de variation du champ en gammas sur la composante la plus perturbée. Il établit, pour chaque observatoire, une échelle de correspondance entre ces amplitudes absolues en gammas et les chiffres arabes 0, 1, 2... 9; cette échelle est grossièrement logarithmique afin qu'elle recouvre la gamme des amplitudes en gammas, et que le spectre des fréquences des différents indices 0, 1, 2... 9 pour "tous les jours" ait son maximum pour les indices 2, 3, 4, en cas de grande activité solaire; d'un observatoire à l'autre, l'échelle varie homothétiquement en sorte que les spectres de fréquence soient semblables*. Par exemple pour un observatoire tel que Zi-Ka-Wei, de latitude géomagnétique 20°, l'échelle est :

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
amplitudes en gammas	0-3	3-6	6-12	12-24	24-40	40-72	72-120	120-200	200-300	>300

Pour un observatoire tel que Chambon-la-Forêt, de latitude géomagnétique 50°, les amplitudes correspondant aux mêmes indices sont multipliées par le facteur 5/3.

L'agitation magnétique d'une journée de 24 heures peut donc être caractérisée assez simplement sous la forme de 8 chiffres, correspondant aux 8 intervalles tri-horaires; elle est basée sur une mesure quantitative et permet cependant, dans la mesure où la similitude des spectres de fréquence est réalisée, la définition d'un indice général planétaire K_p valable pour l'ensemble du globe. Ce dernier n'est encore adopté qu'à titre provisoire par l'Association Internationale de Géomagnétisme, parce que les premiers essais de définition de K_p n'ont été effectués que sur un nombre restreint d'observatoires, dont la répartition sur le globe laisse à désirer du point de vue homogénéité.

Afin de simplifier la description de l'indice K , nous avons négligé un point important qu'il est nécessaire maintenant de mentionner. J. Bartels attache une grande importance au fait qu'un caractère d'activité ne doit être sensible qu'aux variations rapides du champ magnétique provoquées par un agent extra-terrestre. Or il existe une variation rapide régulière qui est dénommée S_q et dont on admet qu'elle n'est pas causée par un agent extra-terrestre. En conséquence, au lieu de mesurer l'amplitude absolue tri-horaire parallèlement aux lignes de base des enregistrements, on mesure cette amplitude parallèlement à des courbes idéales représentant la variation moyenne S_q . Une telle élimination prend une importance très grande aux stations qui se trouvent aux latitudes moyennes et surtout équatoriales du fait que agitation et variation S_q tendent à y devenir du même ordre de grandeur.

On comprend aisément que l'indice K ne peut, sous cette forme, convenir à notre étude. Son principal inconvénient est d'uniformiser du point de vue intensité les observatoires alors que notre but, au contraire, est d'étudier la variation réelle de l'intensité de l'agitation en latitude; et cependant, il nous est absolument nécessaire de passer par son intermédiaire pour pouvoir faire une étude sérieuse des conditions de l'activité magnétique dans les régions polaires puisqu'il est actuellement le plus largement utilisé.

* Cette règle de l'assimilation des fréquences n'est d'ailleurs plus applicable aux hautes latitudes. Nous en verrons ultérieurement des exemples.

1.2. - Transformation des indices K en amplitudes a en gammas

De ce point de vue intensité de l'agitation, l'intérêt de l'indice K est d'être basé sur la mesure de l'amplitude tri-horaire en gammas. Il faudrait donc déterminer des coefficients tels que, des indices K, nous puissions déduire les amplitudes en gammas.

Plus précisément, soient α_i les coefficients correspondant à chaque $K_i = 0, 1, 2, \dots, 9$ et N_i les fréquences de chaque K_i pour une suite d'enregistrements d'un observatoire sur lesquels les indices K ont été mesurés. La quantité a, telle que :

$$a = \frac{\sum \alpha_i N_i}{\sum N_i}$$

devrait représenter l'amplitude moyenne tri-horaire en gammas pour cette suite d'enregistrements.

Ayant mesuré sur ces mêmes enregistrements les amplitudes tri-horaires réelles r en gammas, nous pourrions dire que nos coefficients sont exacts si nous trouvons que la quantité

$$a' = \frac{\sum r}{\sum N_i}$$

qui représente effectivement l'amplitude moyenne tri-horaire en gammas est égale à la quantité a.

D'autre part, les coefficients α_i varieront d'un observatoire à l'autre, de même que l'échelle qui a servi à la mesure des indices. Appelant base de l'échelle la quantité e telle que l'indice 9 est choisi si l'amplitude tri-horaire en gammas est supérieure à e, nous devons vérifier expérimentalement que, si les coefficients α_i sont valables pour une échelle de base e = 300, les coefficients α'_i valables pour une échelle de base e ≠ 300 seront égaux à

$$\alpha'_i = R \alpha_i \text{ avec } R = e/300$$

J. Bartels a déjà utilisé une méthode analogue (6) pour essayer de définir une amplitude moyenne journalière A_p à partir des indices K_p d'une journée. Il emploie pour cela les coefficients α_A du tableau ci-dessous; nous leur comparerons les coefficients α_B obtenus en faisant la moyenne arithmétique des limites successives de l'échelle de base e/300 :

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α_A	0	3	7	15	27	48	80	132	207	400
α_B	1.5	4.5	9	18	32	56	96	160	250	400

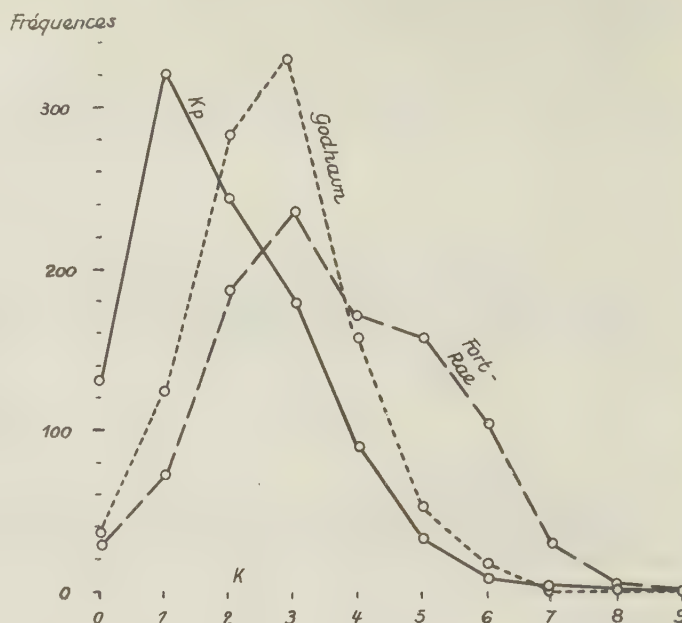
Pour contrôler expérimentalement ces deux séries de coefficients, nous avons mesuré les amplitudes absolues tri-horaires exactes en gammas sur 3 mois d'enregistrements de Port-Martin et de Cap Evans. Nous utiliserons également des mesures analogues faites sur les enregistrements de Godhavn par le Dr. Olsen, et sur les enregistrements de Fort Rae par le Dr. H. Mac Intosh. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

Stations	Nombre d'intervalles mesurés	a'	a_A	a_B	a'/a_A	a'/a_B
Port-Martin	720	37.9	28.6	36.2	1.32	1.05
Cap Evans	720	129.1	104.0	125.0	1.24	1.03
Godhavn H	1440	132.6	113.1	137.1	1.18	0.97
Godhavn D	1440	108.2	94.6	115.6	1.14	0.94
Godhavn Z	1440	135.1	116.5	141.1	1.16	0.96
Fort Rae	2880	172.6	155.8	180.5	1.11	0.95

Les rapports a'/a_B sont donc beaucoup plus proches de l'unité que les rapports a'/a_A ; les coefficients α_B seraient-ils donc plus corrects ?

Il faut prendre garde que nous avons intentionnellement utilisé, pour ce contrôle, des stations de haute latitude puisque notre étude est surtout basée sur de telles stations. Or, si nous regardons la figure 3, qui donne les spectres de fréquence pour la IIème A.P.I., d'une part de l'indice K_p et d'autre part des indices K des stations de Fort Rae et de Godhavn, nous constatons que la règle essentielle de l'assimilation des fréquences n'est pas réalisée puisque les courbes ne se

superposent nullement (rappelons que les deux observatoires, servant à la définition de K_p , qui se trouvent à la plus haute latitude magnétique sont encore à presque 10° de latitude en-dessous de Fort Rae). Or, si nous essayons d'imaginer la répartition statistique possible des valeurs exactes d'amplitudes tri-horaires entre 2 limites successives de l'échelle de mesure des indices K, nous pouvons supposer que, pour les indices qui correspondent au maximum de fréquences du spectre, les amplitudes se répartiront de manière équivalente autour de la moyenne arithmétique des deux limites successives; ils se répartiront plutôt en-dessous de la moyenne pour les indices supérieurs, et plutôt en-dessus pour les indices inférieurs. Nous comprenons donc d'une part pourquoi, les α_A étant systématiquement inférieurs à la moyenne arithmétique, les a_A sont très inférieurs aux a' pour nos stations de haute latitude; par contre, les α_B donnent un résultat qui est équivalent, à 5% près, aux amplitudes moyennes réelles a' . D'autre part, n'ayant pas effectué nous-mêmes de mesures exactes d'amplitudes tri-horaires sur des enregistrements de latitude moyenne parce que nous pensions qu'une élimination précise de la variation S_q y demande un grand entraînement, et ne disposant pas par ailleurs de telles mesures, nous ne pouvons avancer de conclusions certaines sur la validité des coefficients α_A ou α_B à de telles latitudes. Cependant, considérant que les α_A sont, malgré les remarques précédentes, inférieurs à la moyenne arithmétique pour les indices 0 et 1, nous conserverons, pour le dépouillement de tous les observatoires que nous utiliserons, les coefficients α_B qui sont certainement les meilleurs pour les stations polaires (elles forment la majorité des stations dont nous nous servons); nous remarquerons seulement que les amplitudes a_B obtenues pour les observatoires de latitude moyenne seront sans doute supérieures aux amplitudes réelles a' puisque les α_B sont sans doute trop grands pour $K > 3$ ou 4. Il reste que, toutes les stations de latitude moyenne étant dépouillées de la même manière, l'erreur commise sera aussi la même à latitude équivalente, et les amplitudes transformées a resteront parfaitement comparables entre elles.



Comparaison des spectres de fréquence des indices K de Godhavn et Fort Rae et de celui des indices planétaires K_p .

Figure 3

Nous avons un second contrôle expérimental à faire, à savoir : vérifier si les coefficients α_i varient bien homothétiquement dans le même rapport qui définit le passage d'une échelle à une autre. Dans ce but, les indices K de 3 mois d'enregistrements de Cap Evans, Port-Martin et Cap Denison ont été mesurés avec 2 ou 3 échelles différentes; nous utiliserons également des mesures faites par le Dr. Olsen pour Godhavn. Le tableau ci-dessous donne les différentes valeurs d'amplitudes moyennes a obtenues avec les différentes échelles.

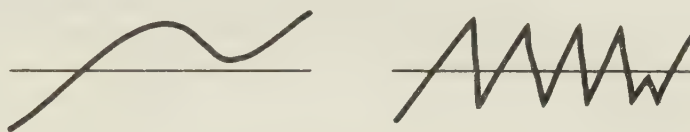
e	1000	1500	1800	2000
Cap Evans	36.2	36.3	—	—
Port-Martin	123.0	125.0	125.0	—
Cap Denison	26.1	25.6	—	—
Godhavn H	137.1	—	—	136.6
Godhavn D	115.6	—	—	117.0
Godhavn Z	141.1	—	—	140.3

En ces stations polaires, une variation assez importante de l'échelle n'influe donc que très peu sur la valeur moyenne a des amplitudes pour les observatoires de haute latitude étudiés. S'il convient de n'en pas conclure que l'utilisation d'une échelle absolument quelconque serait valable en n'importe quel observatoire, on peut du moins observer qu'aux stations polaires que nous étudierons, où la valeur de e est ordinairement comprise entre 1000 et 2000, la transformation des indices K en amplitudes moyennes a par l'emploi des coefficients α_B donne, à peu de chose près, la valeur moyenne a' qui aurait été obtenue par la moyenne des amplitudes absolues tri-horaires exactes. Aux observatoires de latitude moyenne, où la règle de l'assimilation des fréquences peut être aisément appliquée, celle-ci nous assure de l'homogénéité de la transformation.

1.3. - Signification de l'amplitude tri-horaire a

Il sera utile, maintenant que nous avons défini la manière dont nous transformerons les indices K en amplitudes a , de réfléchir sur la signification du caractère d'activité ainsi obtenu.

D'abord l'intervalle de temps adopté : il est évident d'une part, comme le montre la figure 4 ci-dessous, que des agitations très différentes peuvent donner la même valeur d'amplitude absolue.



Indice K et amplitude absolue.

Figure 4

Nous avons déjà fait allusion à ce défaut, selon lequel l'aspect "rapidité" de l'agitation est difficile à atteindre. Cependant, nous montrerons ultérieurement (cf. chapitre VIII, 1) que, dans une analyse des données d'activité portant sur tous les jours, la variation journalière si importante de l'activité N peut être attribuée aux perturbations en forme de baies. Or, celles-ci ont une durée qui est, en moyenne, de une à deux heures, durée qui est donc inférieure à l'intervalle tri-horaire. Pour une étude de l'activité N , un tel intervalle de temps n'est donc pas dénué de signification. Par contre, il est certain que la rapidité de l'agitation de jour (activité J) des observatoires de très haute latitude sera beaucoup plus mal atteinte avec un tel intervalle de temps, puisque les mouvements irréguliers de cette agitation sont beaucoup plus rapides (cf. fig. 1); et on peut supposer que si un intervalle de temps constant plus court que l'intervalle tri-horaire était choisi, le rapport des amplitudes a correspondant à une activité J aux amplitudes a correspondant à une activité N serait augmenté. Nous ne pourrions donc faire de comparaison quantitative stricte entre les intensités des deux activités, mais la comparaison des différentes intensités du même type d'activité restera possible.

D'autre part il est nécessaire d'attirer l'attention sur le fait suivant : chaque mesure d'indice K et donc, au même titre, chaque amplitude moyenne a est relative à un intervalle tri-horaire pris dans son ensemble. Si nous considérons une suite d'amplitudes a représentant les valeurs moyennes des 8 intervalles tri-horaires de la journée de 24 heures, nous devons nous demander dans quelle mesure il sera possible de parler de variation continue entre les nombres successifs d'une telle suite. Pour répondre à cette question, on peut d'abord remarquer que la variation journalière du phénomène étudié, si elle existe, est continue. D'autre part, si un intervalle de temps constant plus petit que l'intervalle tri-horaire avait été choisi, nous aurions des suites de valeurs qui seraient discontinues au même titre que les premières; mais ces valeurs viendraient se placer, tant en ordonnées qu'en abscisses, entre les valeurs tri-horaires (à un facteur de réduction convenable près). Une interpolation entre les valeurs successives des a_i est donc valable. On pourra penser qu'il vaudrait mieux avoir une suite de valeurs plus nombreuses conduisant, par exemple, à une interpolation d'heure en heure, et non pas de 3 heures en 3 heures. Nous avons vu ce qu'il fallait

penser de l'adaptation de l'intervalle tri-horaire aux conditions générales de l'activité N. D'autre part, l'expérience montre que l'interprétation des courbes saisonnières de variation journalière est parfois délicate; il est évident en effet que, dans une suite de 24 valeurs provenant chacune de la moyenne de 120 nombres seulement, il peut y avoir des irrégularités, et il serait nécessaire d'adoucir ces courbes avant de déterminer la position du maximum réel ou de pouvoir dire qu'il y a plusieurs maxima significatifs*. L'utilisation d'un intervalle tri-horaire donne sans doute un adoucissement automatique de ces courbes.

Après ces remarques sur la valeur de l'intervalle de temps choisi, nous pouvons nous demander ce que signifie l'amplitude absolue moyenne tri-horaire de variation du champ magnétique. Il faut insister d'abord sur le fait que ce nombre, bien que mesurant une grandeur physique homogène à un champ magnétique, est une valeur absolue et non algébrique; il ne peut donc conduire à aucune conclusion relative à des directions. Bien plus, il ne faut pas oublier que chaque amplitude tri-horaire individuelle a été obtenue en retenant l'amplitude de la composante la plus perturbée, et elle seule. L'expérience montre qu'aux observatoires de latitude moyenne c'est la composante horizontale qui remplit le plus souvent cette condition. Il n'en est pas de même quand on approche de la zone aurorale où les autres composantes, et spécialement la composante verticale, sont souvent aussi perturbées que la composante horizontale; à supposer que l'on prenne, au lieu de l'amplitude absolue de la composante la plus perturbée, une amplitude obtenue en composant vectoriellement les amplitudes absolues des 3 composantes (ceci introduirait d'ailleurs un effet de non-synchronisme critiquable), il est probable que le rapport des amplitudes de la zone aurorale à celles des latitudes moyennes serait augmenté**. Ceci montre bien la grande relativité des données qui seront utilisées; leur intérêt reste certain parce que de tels défauts ne sont pas suffisamment importants pour masquer les lois générales du phénomène, et que l'homogénéité des mesures sauvegarde la possibilité de l'intercomparaison des observatoires.

1.4. - Utilisation des amplitudes a

Nous préciserons ici la manière dont seront analysées, dans la suite de cette étude, les amplitudes a déduites des indices K .

Pour chaque observatoire, la transformation des indices K en amplitudes moyennes a sera faite en groupant les indices K d'un intervalle tri-horaire pour tous les jours d'une période donnée, en général une saison de 4 mois, et en les multipliant par les coefficients α_g définis ci-dessus, compte tenu du facteur R convenable. Pour chaque saison, on obtiendra donc 8 amplitudes moyennes tri-horaires a_i correspondant aux 8 intervalles tri-horaires. La transformation des indices K en amplitudes a sera également faite en groupant les indices K d'un intervalle tri-horaire pour les jours calmes internationaux ou pour les jours perturbés internationaux d'une période donnée, en général l'année de 12 mois. On aura donc là encore des suites de 8 amplitudes moyennes tri-horaires a_i .

* Nous avons déjà fait allusion à cette difficulté, rencontrée par A. P. Nikolsky dans l'interprétation de ses courbes de valeurs horaires (cf. Introduction, page 13).

** Une remarque semblable peut être faite dans le cas où les composantes horizontales d'enregistrement ne sont pas orientées suivant l'axe de symétrie des perturbations qui sont, en général, plus fortes suivant le méridien géomagnétique. Si, par exemple, l'angle entre le méridien géomagnétique et l'une des composantes d'enregistrement est de 30° (ce qui n'est pas rare dans les régions polaires), la perturbation, au lieu d'être presque uniquement ressentie par une seule composante, se répartira sur les deux composantes en sorte que l'amplitude mesurée sera plus faible; ce défaut est cependant atténué parce que, dans les régions polaires, la composante verticale est souvent très perturbée.

D'une part, la moyenne des 8 amplitudes a_i sera notée A ; elle représentera l'amplitude moyenne, et permettra essentiellement de comparer l'intensité moyenne de l'agitation entre observatoires. Les huit a_i , d'autre part, doivent nous permettre d'étudier, en chaque observatoire, la variation journalière de l'agitation. Nous renoncerons systématiquement à toute analyse harmonique de telles données; la raison principale est que 8 points sont absolument insuffisants pour appliquer une telle méthode. Comme il serait sans doute illusoire de chercher une loi mathématique capable d'exprimer cette variation journalière, nous nous contenterons, pour son étude, de procédés simples. Nous chercherons, d'une part, à déterminer les heures des instants privilégiés que sont l'heure du maximum et l'heure du minimum. D'autre part, nous essaierons d'apprécier la variation journalière de l'intensité de l'activité.

Pour la détermination de l'heure, nous disposons de courbes par points, lesquels sont séparés par des intervalles de 3 heures; devons-nous nous contenter de définir l'heure du maximum à 3 heures près? Ce serait certainement un gros handicap dans la comparaison des observatoires entre eux. Pour écarter cette difficulté, nous pourrions tracer une courbe "adoucie", à partir de nos 8 valeurs d'amplitudes a_i ; mais, si un tel procédé était à la rigueur valable pour la détermination de l'amplitude du maximum (c'est-à-dire d'une ordonnée), une incertitude sérieuse existerait sur la détermination de l'heure du maximum (c'est-à-dire d'une abscisse). Prenons la comparaison suivante : pour des mesures de période avec un équipage mobile; on choisit pour déterminer le temps non pas le moment du passage au maximum de déviation, mais le moment du passage au zéro. De même, si on cherche à obtenir sur une courbe par points les abscisses d'un maximum et d'un zéro, la détermination du second sera beaucoup plus sûre parce qu'on se trouve dans une partie de la courbe adoucie ayant ordinairement une pente importante, ce qui n'est pas le cas du maximum. Prendre les différences premières des suites de a_i et en tracer les courbes adoucies pour déterminer les abscisses de leurs passages au zéro consiste justement à se placer dans ce cas favorable. C'est le procédé que nous avons utilisé pour déterminer les heures du maximum et du minimum de la variation journalière. Nous appellerons M_N l'heure TU du maximum de l'activité N et M_J l'heure équivalente pour l'activité J ; nous appellerons m l'heure TU du minimum.

Pour apprécier la variation journalière de l'intensité de l'activité, nous retiendrons, sans chercher à tracer les courbes adoucies des a_i , les valeurs maximum et minimum des a_i . Cette dernière, notée $a_{\min}$, nous donnera une idée de ce que nous appellerons le "fond continu d'activité". Notant $a_{\max}$ la valeur maximum, nous utiliserons la quantité $a_{\max} - a_{\min}$; elle nous donnera la valeur de "l'amplitude de la variation journalière".

Enfin, nous avons dit que les périodes pour lesquelles les transformations d'indices K en amplitudes a étaient effectuées, seraient les saisons. Celles-ci seront constituées selon les groupements classiques :

solstice de juin	: mai, juin, juillet, août,
équinoxe	: mars, avril, septembre, octobre,
solstice de décembre	: novembre, décembre, janvier, février.

Puisque nous utiliserons des stations des deux hémisphères Nord et Sud, nous appellerons ces différentes saisons respectivement : j, e, d. D'autre part, les valeurs annuelles des amplitudes a_i et A seront obtenues à partir des moyennes des valeurs saisonnières correspondantes; l'année sera notée y .

La majorité des observatoires que nous utiliserons proviennent de la IIème A. P. I. pour laquelle le solstice de décembre était constitué de 4 mois consécutifs. De même, pour plusieurs autres observatoires non permanents de l'Antarctique ou de l'Arctique, le même groupement nous était imposé. Aussi dans les cas où nous utiliserons une longue série d'années à un même observatoire, nous avons conservé pour cette saison les 4 mois consécutifs au lieu de réunir les mois de janvier-février et novembre-décembre du même millésime.

Chapitre II

LES DONNÉES EXPÉRIMENTALES

Dans le choix des enregistrements magnétiques que nous avons utilisés, nous avons été guidés par le principe énoncé dans l'Introduction : d'une part, utiliser au maximum les enregistrements polaires existants, et d'autre part, descendre assez bas en latitude pour définir l'aire d'expansion de l'activité J dont J. M. Stagg n'avait reconnu l'existence qu'à l'intérieur de la zone aurorale, et dont A. P. Nikolsky pensait qu'elle s'étend jusqu'à 60° de latitude géomagnétique.

2.1. - Sources des documents

La contribution la plus importante sera naturellement fournie par les observatoires de la IIème A. P. I., pour lesquels les indices K ont été mesurés sous l'impulsion de J. Bartels et publiés dans le I. A. T. M. E. Bulletin (7). 27 observatoires ont été retenus; 23 sont situés dans l'hémisphère Nord à une latitude géomagnétique supérieure à 50° , et 4 dans l'hémisphère Sud. 7 observatoires polaires (Calm Bay, Jan Mayen, Bear Island, Scoresby Sund, Matotchkin Shar, Dickson, College) et 2 observatoires de latitude géomagnétique $62^\circ 5'$ et $51^\circ 0'$ (Kandalachka, Yakutsk) n'étaient pas inclus dans cette publication; aussi avons-nous effectué la mesure des indices K sur les microfilms des enregistrements de ces stations (8). Quant à la station de Chesterfield, les amplitudes horaires r ont été seules publiées (9); nous les avons transformées en amplitudes tri-horaires en contrôlant cette transformation par une comparaison avec d'autres stations; des précisions ultérieures seront données à ce sujet. Les données de la IIème A. P. I. forment donc un ensemble de 37 observatoires dont 33 sont situés dans l'hémisphère Nord; 5 seulement montrent l'existence de l'activité J sur les courbes annuelles de variation journalière.

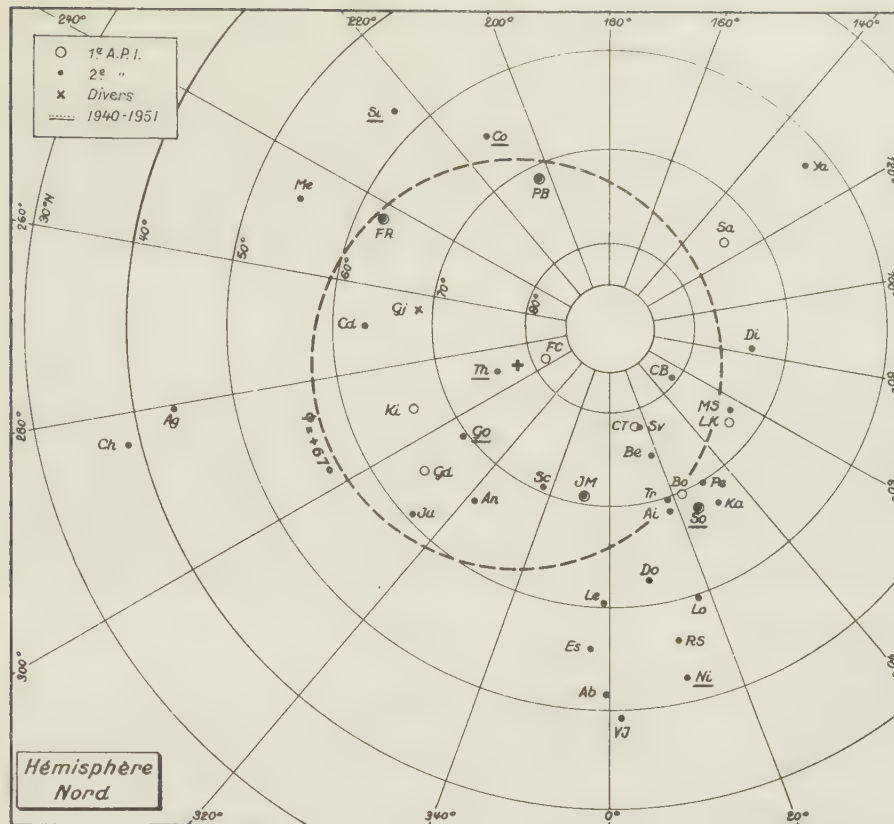
Les documents de la Ière A. P. I. présentaient un intérêt parce que, sur 11 stations, 3 manifestent l'existence d'une activité J intense. La plupart des publications (10) comportent, pour les 24 jours internationaux, des graphiques donnant la variation des composantes selon les lectures visuelles faites toutes les 5 minutes sur les variomètres non enregistreurs. La mesure des indices K sur ces graphiques était rapide et aisée. Dans le cas où ces graphiques n'existaient pas, nous nous sommes reportés aux tableaux de valeurs numériques qui permettaient de faire le calcul des amplitudes absolues tri-horaires. Une moyenne faite sur 24 jours est certes sujette à caution, mais il est facile de contrôler à partir de la IIème A. P. I. le poids que l'on peut attribuer à de telles données. Chacune de ces deux séries de documents forment un ensemble de documents homogènes dans le temps, ce qui est évidemment capital pour étudier la variation en latitude de l'activité. Pour l'hémisphère Nord, nous utiliserons de plus des documents provenant de Gjöahavn, station occupée en 1903-1905, parce que sa position est telle que l'activité J y est prépondérante; nous avons effectué la mesure des indices K sur les reproductions photographiques des enregistrements données dans le Geofysiske Publikationer (11).

TABLEAU I

Liste des Observatoires

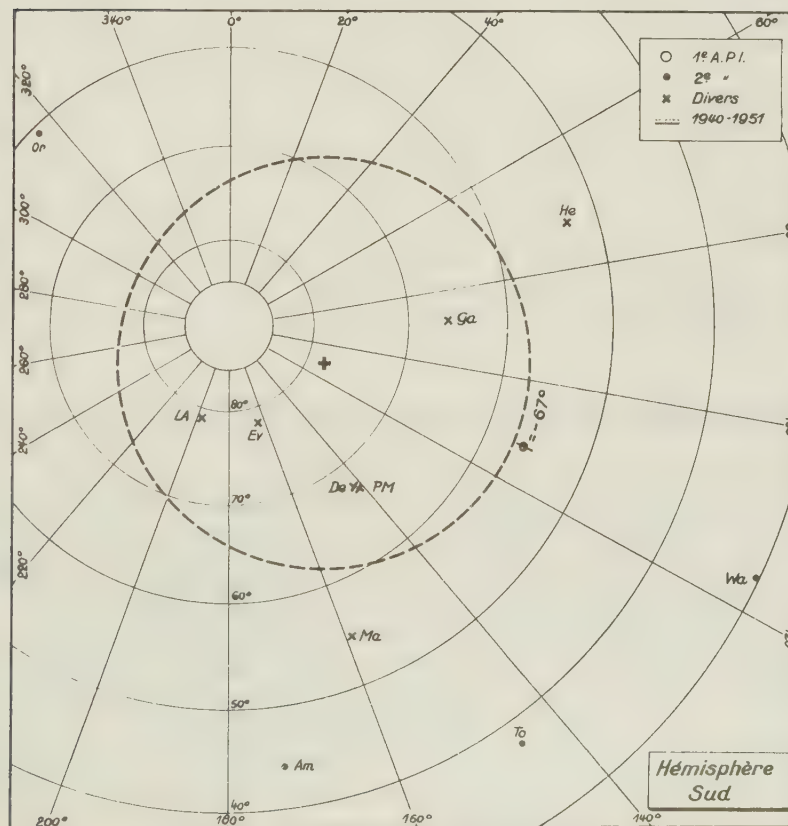
Observatoires	Indicatifs	φ	λ	Périodes d'observation	e
Thulé	Th	76°5	291°0	sept 1932/juil 33 - 1947/49 - 1950/52	1000
Godhavn	Go	69°2	306°5	sept 1932/août 33 - 1940/52	1800
Sveagruvan	Sv	77°9	16°8	sept 1932/août 33	1000
Calm Bay	CB	80°3	52°8	sept 1932/août 33	1500
Jan Mayen	JM	71°0	351°5	1882/83 - nov 1932/juil 33	1000
Bear Island	Be	74°5	19°2	oct 1932/août 33	1500
Scoresby Sund	Sc	70°5	338°0	nov 1932/août 33	1500
Angmagssalik	An	65°6	322°4	sept 1932/août 33	2000
Chesterfield	Cd	63°3	269°3	sept 1932/août 33	-
Juliannehaab	Ju	60°7	314°0	sept 1932/août 33	1500
Fort Rae	FR	62°8	243°9	1882/83 - sept 1932/août 33	1500
Pointe Barrow	PB	71°3	203°3	1882/83 - sept 1932/août 33	1500
Tromsø	Tr	69°7	18°9	sept 1932/août 33	2000
Petsamø	Pe	69°5	31°2	sept 1932/août 33	1500
Abisko	Ai	68°4	18°8	sept 1932/août 33	1500
Sodankylä	So	67°4	26°6	1882/83 - sept 1932/août 33 - 1940/42 - 1947/52	1500
Matotchkin Shar	MS	73°3	56°4	oct 1932/août 33	1500
Dickson	Di	73°5	80°4	déc 1932/août 33	1500
College	Co	64°9	212°2	oct 1932/août 33 - 1941/52	1500 *
Kandalachka	Ka	67°1	32°4	sept 1932/août 33	1000
Dombas	Do	62°1	9°1	sept 1932/août 33	750
Lerwick	Le	60°1	358°8	sept 1932/août 33	1000
Meanook	Me	54°6	246°7	sept 1932/août 33	1500
Sitka	Si	57°0	224°7	sept 1932/août 33 - 1940/52	1000
Eskadlemuir	Es	55°3	356°8	sept 1932/août 33	750
Lovø	Lo	59°4	17°8	sept 1932/août 33	600
Agincourt	Ag	43°8	280°7	sept 1932/août 33	600
Rude Skov	RS	55°8	12°4	sept 1932/août 33	600
Abinger	Ab	51°2	359°6	sept 1932/août 33	500
Val Joyeux	VJ	48°8	2°0	sept 1932/août 33	500
Yakutsk	Ya	62°0	129°8	mars 1933/août 33	600
Cheltenham	Ch	38°7	283°2	sept 1932/août 33	500
Niemegk	Ni	52°1	12°7	sept 1932/août 33 - 1940/44 - 1946/52	500
Watheroo	Wa	-30°3	115°9	sept 1932/août 33	350
Toolangui	To	-37°5	145°5	sept 1932/août 33	500
Amberley	Am	-43°5	172°7	sept 1932/août 33	500
Orcades	Or	-60°8	315°0	sept 1932/août 33	300
Fort Conger	FC	81°7	295°2	1882/83	1500
Kingua Fjord	Ki	66°6	292°7	1882/83	1500
C. Thordsen	CT	78°5	15°7	1882/83	1500
Godthaab	Gd	64°2	308°3	1882/83	-
Bossekop	Bo	70°0	23°2	1882/83	1500
Little Karmakul	LK	72°4	52°7	1882/83	-
Sagastyr	Sa	73°4	126°6	1882/83	-
Gjoåhavn	Gj	68°6	264°1	nov 1903/fév 05	1500
Little America	LA	-78°6	196°2	juin 1929/oct 29	1500
Cap Evans	Ev	-77°6	166°4	mai 1902/oct 03 - mars 1911/oct 12	1000
Cap Denison	De	-67°0	142°7	mai 1912/juil 13	1500
Port Martin	PM	-66°8	141°4	avr 1951/janv 52	1800
Gaussland	Ga	-66°0	89°6	mai 1902/janv 03	1500
Heard	He	-53°0	73°4	mars 1952/fév 53	1000
Macquarie	Ma	-54°5	158°9	avr 1952/fév 53	1500

* La série d'années de College est dépouillée avec une base e = 2500



Carte des stations utilisées dans l'hémisphère Nord.

Figure 5



Carte des stations utilisées dans l'hémisphère Sud.

Figure 6

L'hémisphère Sud étant beaucoup moins riche en observatoires, nous avons cherché à utiliser au maximum tous les documents existants; la condition d'homogénéité dans le temps se trouvera en ce cas moins bien remplie. Nous avons mesuré les indices K sur les originaux de Cap Evans 1902-1903 et 1911-1912, de Cap Denison 1912-1913, de Port-Martin 1951-1952, sur les microfilms de Petite Amérique 1929-1930, sur les dessins des enregistrements de Gauss Land 1902-1903 (12). Ces 5 stations sont situées à l'intérieur de la zone aurorale Sud. De plus, les publications (13) des indices K de Heard et Macquarie pour 1952-1953 ont été dépouillées. Ces 2 stations sont les seules situées à proximité ou sur la zone aurorale Sud.

Enfin, il était nécessaire d'étudier une série d'années en plusieurs observatoires pour savoir dans quelle mesure les conclusions relatives à une seule année d'enregistrements étaient valables. Les seules stations fonctionnant en permanence à l'intérieur de la zone aurorale sont Godhavn et Thulé. Au cours d'un séjour à Copenhague, nous avons mesuré les indices de Thulé pour 1947-1952, ainsi que de Godhavn pour les années 1941-1943. Nous remercions ici le Dr. Olsen qui a bien voulu faire effectuer, après notre départ, le dépouillement de Godhavn 1940. Les publications du I. A. T. M. E. Bulletin nous ont fourni les autres séries de la liste ci-dessous :

Niemegk	1940-1945, 1946-1951
Sitka	1940-1951
Sodankylä	1940-1942, 1947-1951
College	1941-1951
Godhavn	1944-1952

Ces 6 stations, où nous utilisons une longue série d'années, font naturellement partie du groupe de stations de la IIème A. P. I.

En résumé, nous disposons donc d'une part de 37 observatoires de la IIème A. P. I. (minimum d'activité solaire) et de 11 observatoires de la Ière A. P. I. (maximum d'activité solaire), d'autre part de 7 observatoires de l'hémisphère Sud et de 1 observatoire de l'hémisphère Nord, non homogènes dans le temps aux précédents; au total 49 observatoires* dont 11 situés dans l'hémisphère Sud. A l'intérieur de la zone aurorale Nord, nous avons 8 stations, et 5 à l'intérieur de la zone aurorale Sud : en ces 13 stations, l'activité J est assez intense pour apparaître sur les courbes annuelles de la variation journalière des amplitudes a_j .

La position des stations et leur indicatif sont donnés dans le tableau I en précisant la période d'enregistrements utilisée; ce même tableau mentionne la valeur de e , base de l'échelle de mesure des indices K , employée en chaque observatoire. Les figures 5 et 6 donnent une idée de la répartition de ces stations sur le globe (voir pages 24 et 25). De plus, toutes les mesures d'indices que nous avons effectuées sont publiées en appendice à la fin de ce volume.

2.2. - La mesure des indices, quelques remarques sur la valeur des données

Les indices K tirés des I. A. T. M. E. Bulletins ne demandent aucun commentaire; mais quelques précisions sont nécessaires pour les 9 observatoires de la IIème A. P. I. dont nous avons mesuré les indices. En effet, 4 d'entre eux n'ont que 9 ou 11 mois d'enregistrements, et un autre, Yakutsk, n'en a que 6; de ce fait, un défaut d'homogénéité dans le temps peut être introduit quand nous ferons la comparaison de leurs amplitudes moyennes journalières A avec celles des autres stations dont les enregistrements courent sur 12 mois. Cependant, il existe un point de repère qui permet de savoir dans quelle mesure une telle comparaison reste justifiée. Le I. A. T. M. E. Bulletin 12f donne les valeurs mensuelles de l'amplitude moyenne journalière A_p , déduite des indices K_p . Ce paramètre, représentatif de l'activité N au même titre que les observatoires qui ont servi à son élaboration, est encore valable pour les observatoires auxquels nous nous intéressons actuellement, puisque leurs courbes annuelles de variation journalière ne

* Des 11 observatoires de la Ière A. P. I., 4 seulement ont une position nettement différente de ceux de la IIème A. P. I.

montrent qu'un seul maximum du type N. Nous faisons donc la moyenne des A_p mensuels correspondant aux mois d'enregistrements existant pour chacun de ces observatoires, en donnant un poids équivalent aux groupes de mois appartenant à chaque saison, afin d'éliminer l'effet saisonnier qui existe dans la variation annuelle de l'activité N, et nous obtenons ainsi un A_p moyen qui peut nous indiquer si les amplitudes moyennes A, que nous déduirons des séries incomplètes de ces observatoires, s'écartent beaucoup des amplitudes qui auraient été obtenues avec 12 mois. Dans le cas de Dickson et de Jan Mayen (9 mois), nous obtenons respectivement des A_p égaux à 10,5 et 10,3; dans le cas de Matotchkin Shar et College (11 mois), nous obtenons des A_p égaux à 10,1; la valeur de A_p étant de 10,1 pour les 12 mois complets de la IIème A.P.I. (nous n'utilisons pas le mois d'août 1932, mais seulement les 12 mois de septembre 1932 à août 1933), on voit que la différence reste égale ou inférieure à 2%. Quant à Yakutsk (6 mois seulement), nous ne l'intégrerons pas dans la comparaison générale, mais nous l'utiliserons séparément.

D'autre part, certains de ces enregistrements étaient défectueux, spécialement en deux stations, en ce sens que, en cas de grande agitation, les courbes sortaient des limites. Nous n'avons pas hésité, en ce cas, à interpoler; ces interpolations étaient, pensons-nous, justifiées du fait que, sur ces enregistrements de haute latitude, plusieurs centimètres séparent le passage d'un indice au suivant: de relativement bonnes mesures d'indice peuvent donc être faites sur des enregistrements qui ne permettraient pas des mesures d'écarts à la valeur moyenne.

Nous avons dit plus haut que, pour Chesterfield, les amplitudes horaires r des 3 composantes avaient été transformées en amplitudes tri-horaires. La méthode utilisée a été la suivante: son principe était de grouper par trois les amplitudes horaires successives r et d'en faire la moyenne, obtenant ainsi au lieu des 24 amplitudes horaires, 8 amplitudes tri-horaires a'; restait à trouver le facteur λ par lequel il fallait multiplier ces valeurs a' pour obtenir des amplitudes tri-horaires a comparables à celles qui auraient été obtenues à partir des indices K. On comprend en effet que les a sont nécessairement plus grands que les a', et qu'il n'y a cependant aucune raison pour que ce facteur soit égal à 3, comme l'est le rapport des intervalles tri-horaires utilisés pour les a et des intervalles horaires utilisés pour les r. Pour trouver ce facteur, nous pouvions utiliser 3 autres stations où les amplitudes horaires r avaient été mesurées ainsi que les indices K. De ces 3 stations, l'une, Godhavn, est d'un type de variation journalière de l'activité analogue à celle de Chesterfield, montrant la superposition nette des deux ondes d'activité N et J. Une autre, Thulé, est du type J pur; la dernière, Julianehaab, du type N pur. Si nous ne trouvons pas le même facteur λ pour ces 3 stations, nous aurons une occasion de vérifier comment les deux types d'activité N et J ne répondent pas de la même manière, suivant la grandeur de l'intervalle de temps constant servant à la définition du caractère d'activité (cf. chapitre I. 3).

Deux remarques sont utiles. D'une part, la mesure de l'indice K est faite en éliminant la variation S_q , alors que dans la mesure des amplitudes horaires r cette variation n'a pas été éliminée; nous pouvons considérer que ceci n'introduit qu'une erreur négligeable, puisqu'aux stations de très haute latitude cette variation S_q est très faible devant l'agitation. D'autre part, la mesure de l'indice K est faite en mélangeant les 3 composantes pour chaque intervalle tri-horaire, puisqu'on ne retient que l'amplitude la plus grande; disposant ici des moyennes saisonnières des amplitudes horaires des trois composantes, nous retiendrons la plus grande des valeurs horaires moyennes saisonnières des 3 composantes. Le mélange des composantes est donc fait sur des moyennes, et non pas, comme pour l'indice K, sur des valeurs individuelles. Nous introduisons ainsi une différence qu'il est difficile de chiffrer bien qu'elle soit vraisemblablement peu importante; en tous cas, le même procédé étant utilisé pour la recherche du facteur λ aux stations de comparaison, cette différence est sans doute éliminée en grande partie.

Les valeurs a' ont donc été calculées, selon la méthode directe, pour les 3 observatoires de comparaison et pour Chesterfield. Puis, nous avons fait les rapports a/a' et A/A' pour les 3 premiers observatoires. Le tableau ci-dessous donne la valeur moyenne des huit a/a' avec l'écart moyen et la valeur de A/A' , les a et a', A et A' correspondant aux valeurs annuelles; ces rapports sont équivalents au facteur λ .

	a/a'	A/A'
Thulé	2.12 ± 0.11	2.10
Godhavn	1.97 ± 0.14	1.95
Julianehaab	1.86 ± 0.11	1.85

On peut remarquer que le facteur λ décroît systématiquement de Thulé à Julianehaab; ou encore, que les amplitudes tri-horaires a' sont plus proches des amplitudes tri-horaires a pour Thulé que pour Julianehaab. Ceci correspond évidemment au fait que l'agitation est plus rapide à Thulé qui possède une activité J pure, qu'à Julianehaab qui possède une activité N pure, et confirme les remarques que nous avons faites sur la signification de l'indice K .

Comme la forme de la variation annuelle à Chesterfield est semblable à celle de Godhavn, c'est la valeur du facteur λ' à cette station que nous retiendrons pour transformer les amplitudes tri-horaires a' , déduites des amplitudes horaires r , en amplitudes tri-horaires a .

La mesure des indices K sur les microfilms de Petite Amérique a nécessité un choix délicat qui peut être critiqué. Les enregistrements courant de juin 1929 à janvier 1930, celui de H n'est valable que pour juin, juillet, août 1929 et janvier 1930, celui de Z à partir de septembre 1929, celui de D de juin 1929 à février 1930; mais il semble, d'après l'aspect des enregistrements à partir du 3 ou 4 novembre, que l'aimant n'oscillait pas librement. Après plusieurs essais, nous avons décidé de retenir seulement la mesure des indices de D de juin à octobre 1929.

Les données de la Ière A.P.I. nécessitent une mention spéciale puisqu'elles correspondent seulement à 24 jours, c'est-à-dire les 1 et 15 de chaque mois. Il est aisé de vérifier la valeur que l'on peut accorder à de tels documents, en relevant les indices des 1 et 15 du mois pour quelques observatoires de la IIème A.P.I. Ceci a été fait pour Godhavn, Fort Rae, Sodankylä et Niemegk. Les rapports A_{24}/A_{365} se trouvent être respectivement de 1,13, 1,16, 1,21 et 1,23. Les A_{24} sont donc systématiquement plus forts, mais présentent entre eux une cohérence relative : $1,18 \pm 0,04$. Les valeurs de A obtenues pour la Ière A.P.I. ne peuvent donc pas être considérées comme significatives en valeur absolue, mais leur inter-comparaison est cependant possible à 5% près. Les différences obtenues entre les phases de la variation journalière à partir des a_{24} et des a_{365} sont, dans 8 cas sur 10, de l'ordre de 0,8 h; dans 2 autres cas, ils sont de 3,4 h. On aura à tenir compte de ces marges d'erreur dans l'utilisation des données de la Ière A.P.I. D'autre part, du fait que quelques-uns des observatoires polaires en 1882-1883 n'avaient pas de variomètres de Z , on n'a utilisé, pour l'ensemble, que les valeurs de D et H . Dans le cas de Fort Conger, seules les valeurs de D existent : elles représentent plutôt la variation de la composante géomagnétique Nord X' , puisque D est au $100^{\circ}6$ W et X' au 165° W. On notera enfin que les mesures des indices K de la Ière A.P.I. ont été faites sans éliminer la variation journalière S_q . Ceci est sans grande conséquence, puisque, aux stations de haute latitude, cette variation est très petite devant l'agitation.

2.3. - Les valeurs des amplitudes moyennes a_i et A

On trouvera dans le tableau II le détail, pour chaque observatoire, des amplitudes moyennes a_i et A , telles qu'elles résultent du groupement des indices K de chaque intervalle tri-horaire pour tous les jours d'une période donnée (saisons d, e, j et année y); ces valeurs sont naturellement exprimées en gammas. Dans le cas où les saisons sont incomplètes, le chiffre entre parenthèses à côté du nom de la saison précise le nombre de mois utilisés. Tous les a_i sont centrés sur les intervalles de 0-3 h, 3-6 h, ... 21-24 h TU, sauf ceux de la Ière A.P.I. qui sont en temps de Göttingen, et ceux de Petite Amérique qui sont en temps du 195° E.

Le tableau III donne les valeurs analogues pour les jours calmes et les jours perturbés internationaux.

TABLEAU II

Amplitudes a_i et A pour tous les jours

Heures TU	a_i							A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	Moyennes
II ème ANNEE POLAIRE INTERNATIONALE								
<u>Thulé</u>								
d	48,0	45,0	47,0	56,9	68,3	65,3	60,6	55,8
e	60,3	56,6	60,6	72,9	102,6	109,9	89,6	81,3
j (3)	82,3	68,3	73,9	100,9	161,5	163,5	117,5	96,6
y	63,5	56,6	60,5	76,9	110,8	112,9	89,2	77,8
<u>Godhavn</u>								
d	144,0	111,6	90,6	110,4	122,4	107,4	69,0	118,2
e	126,6	79,8	92,4	142,8	183,8	169,2	97,2	102,0
j	108,6	72,6	97,8	164,4	219,6	177,6	116,4	106,2
y	126,4	88,0	93,6	139,2	175,3	151,4	94,2	108,8
<u>Sveagruvan</u>								
d	97,6	105,6	88,9	67,9	63,3	95,2	130,2	122,5
e	105,9	119,2	102,2	75,3	78,3	128,6	132,5	123,9
j	137,5	135,9	110,2	108,9	87,2	88,2	117,5	114,2
y	113,7	120,2	100,4	84,0	76,2	104,6	126,7	120,2
<u>Calm Bay</u>								
d	204,5	181,0	132,0	111,5	152,5	196,0	239,0	172,5
e	222,0	203,5	174,0	166,0	192,0	279,0	225,5	186,5
j	237,0	194,0	160,5	142,0	156,0	150,0	200,0	177,1
y	221,2	192,8	155,5	141,2	166,8	208,3	221,5	178,8
<u>Jan Mayen</u>								
d	159,0	129,3	107,3	77,7	79,0	92,0	178,0	204,3
e	169,0	144,7	128,0	86,0	106,7	120,7	166,0	214,7
j (3)	147,7	123,0	79,3	65,3	91,3	88,0	119,7	123,7
y	158,6	132,3	104,9	76,3	92,3	100,2	154,6	180,9
<u>Bear Island</u>								
d (3,5)	146,5	106,5	79,0	64,0	81,5	125,5	220,5	185,0
e (2,5)	150,5	128,5	84,5	83,0	104,5	140,0	227,5	217,5
j (3,5)	140,5	111,0	70,5	93,0	103,5	104,0	151,5	141,0
y	145,8	115,3	78,0	80,0	96,5	123,2	199,8	181,2
<u>Scoresby Sund</u>								
d (3)	185,0	148,5	139,5	116,0	98,0	97,5	149,0	241,0
e (2)	144,5	153,5	173,5	124,5	113,5	121,0	141,0	229,0
j (3,5)	150,0	147,0	136,0	100,0	110,0	125,5	112,5	159,5
y	159,8	149,7	149,7	113,5	107,2	114,7	134,2	209,8
<u>Angmagssalik</u>								
d	233,5	160,7	142,7	120,1	104,7	96,7	122,1	202,8
e	238,8	158,1	180,1	123,4	107,4	124,7	160,1	239,5
j	188,1	134,1	154,1	103,4	88,0	113,4	123,4	189,4
y	220,1	151,0	158,9	115,6	100,0	111,6	135,2	210,6
<u>Chesterfield</u>								
d	85,4	216,6	192,9	118,4	180,2	184,5	146,3	93,6
e	108,6	224,6	166,1	131,0	191,1	210,4	178,4	137,5
j	124,2	136,5	130,3	105,3	178,0	182,7	164,0	134,4
y	104,3	191,7	163,0	117,2	183,1	192,7	162,8	121,5
<u>Juliannehaab</u>								
d	289,0	202,0	141,0	123,5	85,0	95,0	112,5	205,0
e	324,5	220,0	204,0	117,5	92,5	157,0	190,5	234,5
j	253,0	186,5	167,5	104,5	73,5	107,0	132,0	207,0
y	288,8	202,8	170,8	115,2	83,6	119,7	145,0	215,5
II ème ANNEE POLAIRE INTERNATIONALE								
<u>Fort Rae</u>								
d	91,0	145,5	306,0	266,0	211,0	158,5	113,5	88,5
e	110,0	219,0	342,5	266,0	238,5	214,0	116,0	105,5
j	133,0	177,5	315,0	218,5	188,5	147,5	95,5	96,5
y	111,3	180,7	321,2	250,2	212,7	173,3	108,3	96,8
<u>Pointe Barrow</u>								
d	40,5	37,0	58,0	151,0	130,0	92,0	67,0	46,5
e	41,0	44,5	77,5	133,5	108,0	91,5	68,0	50,5
j	34,0	41,5	65,0	108,0	97,5	69,5	51,0	41,0
y	38,5	41,0	66,8	130,8	111,8	84,3	62,0	46,0
<u>Tromsø</u>								
d	143,4	78,7	40,0	41,4	63,4	98,7	192,8	228,1
e	220,1	92,7	51,4	66,0	84,7	132,7	222,1	281,5
j	175,4	86,0	39,4	54,0	71,4	81,4	139,4	164,7
y	179,6	85,8	43,6	53,8	73,2	104,3	184,8	224,8
<u>Petsamö</u>								
d	83,5	46,0	31,0	44,0	67,0	95,0	184,0	177,5
e	178,0	67,0	44,0	75,0	105,0	145,5	227,5	261,0
j	146,5	61,0	34,5	64,5	90,5	78,5	130,5	177,0
y	136,0	58,0	36,5	61,2	87,5	106,3	180,7	205,1
<u>Abisko</u>								
d	129,5	65,5	39,0	41,5	55,5	92,0	174,5	203,0
e	188,0	73,0	48,5	56,5	90,0	114,5	201,0	253,5
j	147,5	54,0	36,0	43,0	79,5	74,0	109,0	135,0
y	155,0	64,2	41,2	47,0	75,0	93,5	161,5	197,2
<u>Sodankylä</u>								
d	89,5	44,5	27,0	33,0	59,0	82,0	124,5	141,5
e	111,5	51,0	38,5	53,5	87,0	108,0	160,5	178,5
j	104,5	48,5	29,5	50,0	78,0	66,0	94,5	118,0
y	101,8	48,0	31,7	45,5	74,7	85,3	126,5	146,0
<u>Matotchkin Shar</u>								
d	132,5	82,0	62,5	58,0	123,0	236,0	269,0	209,5
e (3)	209,5	102,0	85,5	104,5	154,0	269,5	315,0	273,5
j	154,0	83,0	66,0	86,5	102,0	126,5	202,0	192,5
y	165,3	89,0	71,3	83,0	126,3	210,7	262,0	225,2
<u>Dickson</u>								
d	110,3	65,3	56,3	79,7	134,0	203,7	249,0	196,0
e (2)	145,7	92,3	87,0	116,0	188,3	271,7	343,7	279,7
j (3)	102,3	60,3	90,3	114,0	119,0	165,3	200,0	169,0
y	119,4	72,6	77,9	103,2	147,1	213,6	264,2	214,9
<u>College</u>								
d	42,5	49,5	97,5	201,5	203,0	139,5	65,0	46,0
e (3)	56,5	79,5	139,0	282,0	244,0	147,0	58,0	49,5
j	76,5	80,0	129,5	205,5	192,0	110,0	59,0	40,0
y	58,5	69,7	122,0	229,7	213,0	132,2	60,7	45,2
<u>Kandalachka</u>								
d	40,3	23,3	19,0	20,0	39,3	49,7	70,7	60,3
e	59,0	29,7	25,7	30,0	52,0	69,3	77,0	79,0
j	48,7	29,0	25,7	29,3	43,7	40,7	48,7	58,3
y	49,3	27,3	23,5	26,4	45,0	53,2	65,5	65,9

TABLEAU II (suite)

Heures TU	a _i								A	Heures TU	a _i								A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes		0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes
IIème ANNÉE POLAIRE INTERNATIONALE																			
Dombas										Niemegk									
d	37,2	20,8	14,5	14,8	21,3	34,0	45,8	41,0	28,7	d	21,8	15,8	11,8	14,0	17,5	24,5	29,5	27,5	20,3
e	42,0	25,8	17,8	21,5	33,5	41,3	52,7	54,0	36,1	e	26,0	19,2	12,3	15,8	19,0	29,8	30,3	32,5	23,1
j	38,3	22,3	16,5	22,8	35,3	32,8	41,0	36,5	30,7	j	20,5	15,3	12,3	16,5	22,0	22,8	25,0	22,7	19,6
y	39,2	23,0	16,3	19,7	30,0	36,0	46,5	43,8	31,8	y	22,8	16,8	12,1	15,4	19,5	25,7	28,3	27,6	21,0
Lerwick										Watheroo									
d	38,3	25,0	18,3	17,3	23,3	33,3	40,7	43,3	29,9	d	9,1	8,6	10,2	11,1	13,2	13,1	11,1	10,0	10,8
e	44,3	33,3	25,0	23,3	36,0	44,7	52,0	55,7	39,3	e	8,5	8,1	9,9	12,1	15,4	15,3	11,7	10,9	11,5
j	46,0	30,3	25,0	23,3	41,7	45,0	46,3	47,7	38,2	j	8,3	8,9	9,6	9,5	11,2	11,1	10,6	8,4	9,7
y	42,9	29,5	22,8	21,3	33,7	41,0	46,3	48,9	35,8	y	8,6	8,5	9,9	10,9	13,3	13,2	11,1	9,8	10,7
Meanook										Toolangui									
d	28,5	45,5	86,0	90,0	67,0	48,5	33,5	29,5	53,6	d	24,7	24,5	25,2	23,0	25,5	22,5	23,3	25,8	24,3
e	38,5	76,5	130,5	140,5	96,0	52,0	36,0	43,5	76,7	e	24,3	25,5	24,0	28,5	29,3	26,7	21,5	23,5	25,4
j	51,0	76,5	117,0	104,5	72,0	42,0	34,5	38,0	66,9	j	19,8	20,5	21,3	22,2	23,8	19,3	17,5	18,7	20,4
y	39,3	66,2	111,2	111,7	78,3	47,5	34,7	37,0	65,7	y	22,9	23,5	23,5	24,6	26,2	22,8	20,8	22,7	23,4
Sitka										Amberley									
d	21,7	32,0	52,7	53,0	51,0	38,7	26,0	22,7	37,2	d	21,2	20,8	19,0	19,5	17,7	13,7	14,8	21,3	18,5
e	27,7	50,3	69,7	71,3	66,6	48,0	33,0	24,3	48,9	e	21,8	22,3	21,7	26,0	20,3	15,7	17,2	18,7	20,5
j	32,7	40,3	57,0	53,3	56,7	38,7	34,7	24,3	42,2	j	18,2	17,7	19,8	20,2	17,2	12,2	13,7	14,0	16,6
y	27,4	40,9	59,8	59,2	58,1	41,8	31,2	23,8	42,8	y	20,4	20,3	20,2	21,9	18,4	13,9	15,2	18,0	18,5
Eskdalemuir										Orcades									
d	25,8	18,3	17,0	14,8	19,0	24,0	29,3	32,8	22,6	d	11,7	7,7	11,0	3,9	6,6	5,6	13,5	15,1	9,4
e	29,3	21,8	19,3	20,8	30,3	31,3	34,0	37,5	28,0	e	16,7	11,8	11,0	4,9	6,6	5,0	9,8	14,5	10,0
j	26,5	18,5	20,0	18,8	29,3	35,3	32,5	26,0	25,9	j	15,3	11,5	10,0	7,6	4,7	4,1	10,3	13,8	9,7
y	27,2	19,5	18,8	18,1	26,2	30,2	31,9	32,1	25,5	y	14,6	10,3	10,7	5,5	6,0	4,9	11,2	14,5	9,7
Lovö																			
d	22,2	14,0	15,0	15,4	20,4	27,4	27,4	28,2	21,2										
e	26,4	19,4	18,6	21,4	27,8	34,4	25,4	35,0	26,0										
j	26,4	17,8	16,4	21,6	26,6	26,0	25,0	25,0	23,1										
y	25,0	17,1	16,7	19,5	24,9	29,3	25,9	29,4	23,5										
Agincourt																			
d	30,6	28,6	25,8	21,8	16,2	16,4	18,2	23,4	22,6										
e	38,6	35,4	32,2	24,2	21,2	20,8	24,0	31,6	28,5										
j	34,4	31,4	31,2	19,8	17,6	17,8	25,8	32,0	26,3										
y	34,5	31,8	29,7	21,9	18,3	18,3	22,7	29,0	25,8										
Rude Skov																			
d	22,0	14,8	12,4	13,4	16,6	25,2	29,6	27,0	20,1										
e	24,8	17,2	14,4	15,2	19,2	29,6	31,8	33,4	23,2										
j	22,0	14,2	13,0	13,0	18,8	20,0	25,6	20,8	18,4										
y	22,9	15,4	13,3	13,9	18,2	24,9	29,0	27,1	20,6										
Abinger																			
d	22,2	17,3	16,0	16,2	16,8	21,5	26,3	27,5	20,5										
e	25,5	20,8	18,2	18,5	23,3	28,7	29,0	32,8	24,6										
j	21,7	17,5	16,7	16,8	24,3	26,0	25,3	21,3	21,2										
y	23,1	18,5	17,0	17,2	21,5	25,4	26,9	27,2	22,1										
Val Joyeux																			
d	19,0	14,8	12,5	13,5	15,7	17,3	23,0	21,0	17,1										
e	20,8	16,3	14,3	15,0	15,8	19,7	23,7	24,5	18,8										
j	18,5	14,5	14,2	12,3	14,5	16,0	20,0	18,0	16,0										
y	19,4	15,2	13,7	13,6	15,3	17,7	22,2	21,2	17,3										
Yakutsk																			
d	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
e (2)	30,2	30,6	47,0	65,2	64,4	51,2	43,2	43,2	46,9										
j	32,4	29,6	39,0	43,4	43,6	34,6	31,2	28,0	35,2										
y	31,3	30,1	43,0	54,3	54,0	42,9	37,2	35,6	41,1										
Cheltenham																			
d	23,3	21,3	18,8	17,2	12,8	11,7	15,2	18,5	17,4										
e	27,7	27,2	22,3	20,3	15,0	14,7	18,7	24,3	21,3										
j	24,3	25,3	22,2	17,2	13,0	14,0	20,5	23,8	20,0										
y	25,1	24,6	21,1	18,2	13,6	13,5	18,1	22,2	19,6										
IIème ANNÉE POLAIRE INTERNATIONALE																			
Niemegek																			
d	21,8	15,8	11,8	14,0	17,5	24,5	29,5	27,5	20,3	d	21,8	15,8	11,8	14,0	17,5	24,5	29,5	27,5	20,3
e	26,0	19,2	12,3	15,8	19,0	29,8	30,3	32,5	23,1	e	26,0	19,2	12,3	15,8	19,0	29,8	30,3	32,5	23,1
j	20,5	15,3	12,3	16,5	22,0	22,8	25,0	22,7	19,6	j	20,5	15,3	12,3	16,5	22,0	22,8	25,0	22,7	19,6
y	22,8	16,8	12,1	15,4	19,5	25,7	28,3	27,6	21,0	y	22,8	16,8	12,1	15,4	19,5	25,7	28,3	27,6	21,0
Watheroo																			
d	9,1	8,6	10,2	11,1	13,2	13,1	11,1	10,0	10,8	d	9,1	8,6	10,2	11,1	13,2	13,1	11,1	10,0	10,8
e	8,5	8,1	9,9	12,1	15,4	15,3	11,7	10,9	11,5	e	8,5	8,1	9,9	12,1	15,4	15,3	11,7	10,9	11,5
j	8,3	8,9	9,6	9,5	11,2	11,1	10,6	8,4	9,7	j	8,3	8,9	9,6	9,5	11,2	11,1	10,6	8,4	9,7
y	8,6	8,5	9,9	10,9	13,3	13,2	11,1	9,8	10,7	y	8,6	8,5	9,9	10,9	13,3	13,2	11,1	9,8	10,7
Toolangui																			
d	24,7	24,5	25,2	23,0	25,5	22,5	23,3	25,8	24,3	d	24,7	24,5	25,2	23,0	25,5	22,5	23,3	25,8	24,3
e	24,3	25,5	24,0	28,5	29,3	26,7	21,5	23,5	25,4	e	24,3	25,5	24,0	28,5	29,3	26,7	21,5	23,5	25,4
j	19,8	20,5	21,3	22,2	23,8	19,3	17,5	18,7	20,4	j	19,8	20,5	21,3	22,2	23,8	19,3	17,5	18,7	20,4
y	22,9	23,5	23,5	24,6	26,2	22,8	20,8	22,7	23,4	y	22,9	23,5	23,5	24,6	26,2	22,8	20,8	22,7	23,4
Amberley																			
d	21,2	20,8	19,0	19,5	17,7	13,7	14,8	21,3	18,5	d	21,2	20,8	19,0	19,5	17,7	13,7	14,8	21,3	18,5
e	21,8	22,3	21,7	26,0	20,3	15,7	17,2	18,7	20,5	e	21,8	22,3	21,7	26,0	20,3	15,7	17,2	18,7	20,5
j	18,2	17,7	19,8	20,2	17,2	12,2	13,7	14,0	16,6	j	18,2	17,7	19,8	20,2	17,2	12,2	13,7	14,0	16,6
y	20,4	20,3	20,2	21,9	18,4	13,9	15,2	18,0	18,5	y	20,4	20,3	20,2	21,9	18,4	13,9	15,2	18,0	18,5
Orcades																			
d	11,7	7,7	11,0	3,9	6,6	5,6	13,5	15,1	9,4	d	11,7	7,7	11,0	3,9	6,6	5,6	13,5	15,1	9,4
e	16,7	11,8	11,0	4,9	6,6	5,0	9,8	14,5	10,0	e	16,7	11,8	11,0	4,9	6,6	5,0	9,8	14,5	10,0
j	15,3	11,5	10,0	7,6	4,7	4,1	10,3	13,8	9,7	j	15,3	11,5	10,0	7,6	4,7	4,1	10,3	13,8	9,7
y	14,6	10,3	10,7	5,5	6,0	4,9	11,2	14,5	9,7	y	14,6	10,3	10,7	5,5	6,0	4,9	11,2	14,5	9,7
Ière ANNÉE POLAIRE INTERNATIONALE																			
Heures de Gottingen	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes										
Fort Conger																			
	109,5	133,5	129,5	117,0	139,0	174,0	175,5	161,5	142,8										
Kingua Fjord																			
	53,1	61,0	49,5	66,0	128,5	166,0	117,5	70,0	89,0										
Cap Thordsen																			
	136,0	154,5	129,5	123,5	106,0	160,5	177,5	140,0	140,9										
Godthaab																			
	125,5	104,8	88,5	140,7	121,8	143,4	105,5	136,2	121,2										
Jan Mayen																			
	234,0	182,5	154,0	125,0	123,0	132,5	205,5	217,5	171,8										
Fort Rae																			
	112,0	181,5	229,0	216,5	180,0	197,0	155,0	121,5	174,1										
P. Barrow																			
	86,7	82,8	127,2	158,7	162,7	192,5	165,3	136,5	139,1										
Bossekop																			
	126,0	88,5	33,0	52,5	67,5	110,5	130,0	170,5	98,7										
Karmakul																			
	240,1	169,8	134,9	165,5	176,9	206,2	301,7	323,8	214,9										
Sodankylä																			
	84,5	58,0	29,5	46,5	52,0	71,5	75,0	101,0	64,8										
Sagastyr																			
	118,4	80,9	85,2	111,4	186,6	278,0	222,0	222,0	163,1										

TABLEAU II (suite)

Heures TU	a _i								A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes
Gjoðhavn 1903 - 1905									
d 1903/4	40,5	64,5	86,0	48,0	55,5	95,5	88,5	57,0	66,9
e 1904	44,5	42,0	45,5	41,5	68,5	117,0	114,0	73,0	68,3
j 1904	65,5	45,5	39,0	49,5	91,5	166,5	163,5	112,5	91,7
d 1904/5	36,0	47,5	54,5	49,0	56,0	80,0	72,0	52,5	55,9
e 1905 (2)	67,0	59,0	65,5	51,0	102,5	152,0	160,0	102,5	94,9
d (8)	38,2	56,0	70,2	48,5	55,8	87,8	80,3	54,8	61,5
e (6)	51,3	47,7	52,2	44,7	79,8	128,7	129,3	82,8	77,1
j (4)	65,5	45,5	39,0	49,5	91,5	166,5	163,5	112,5	91,7
y	51,7	49,7	53,8	47,6	75,7	127,7	124,4	83,4	76,8
Cap Evans 1902 - 1903									
j 1902 (3,5)	35,0	41,3	46,3	41,3	33,7	36,7	40,0	40,0	38,9
e 1902 (2)	75,0	71,3	53,3	56,0	51,3	54,3	74,7	87,3	65,4
d 1902/3	124,3	97,0	77,3	84,7	99,7	144,0	197,0	187,3	126,4
e 1903 (3)	113,0	86,7	68,0	76,0	83,0	74,3	107,3	120,7	91,1
j 1903 (3,5)	70,3	72,3	84,0	77,7	67,7	68,7	85,7	86,3	76,6
d (4)	124,3	97,0	77,3	84,7	99,7	144,0	197,0	187,3	126,4
e (5)	100,3	81,6	63,1	69,3	72,4	67,6	96,4	109,6	82,5
j (7)	52,7	56,8	65,2	59,5	50,7	52,7	62,9	63,2	58,0
y	92,4	78,5	68,5	71,2	74,3	88,1	118,8	120,0	89,0
Cap Evans 1911 - 1912									
e 1911	82,3	81,7	68,7	67,3	69,0	57,7	90,7	99,3	77,1
j 1911	52,7	61,7	71,3	59,7	49,7	51,3	58,7	58,3	57,9
d 1911/2	89,0	64,3	50,0	54,7	67,3	92,3	124,7	139,3	85,2
e 1912	54,7	39,0	36,7	41,0	39,0	37,0	54,3	65,0	45,8
j 1912	41,3	40,7	41,3	33,3	32,7	30,7	39,3	40,0	37,4
d (4)	89,0	64,3	50,0	54,7	67,3	92,3	124,7	139,3	85,2
e (8)	68,5	60,3	52,7	54,2	54,0	47,4	72,5	82,1	61,5
j (8)	47,0	51,2	56,3	46,5	41,2	41,0	49,0	49,2	47,7
y	68,2	58,6	53,0	51,8	54,2	60,2	82,1	90,2	64,8
Gauss Land 1902 - 1903									
j 1902 (3)	63,0	83,0	68,5	69,5	53,5	63,0	93,0	65,5	69,8
e 1902 (2)	83,0	86,5	82,0	86,0	61,5	78,5	118,0	78,0	84,2
d 1902/3 (3)	113,0	107,0	111,5	134,0	98,5	91,0	121,5	95,5	109,0
y	86,5	92,0	87,5	96,5	71,2	77,5	111,0	79,5	87,7
Cap Denison 1912 - 1913									
j 1912	68,5	53,5	34,0	42,0	59,5	41,5	39,5	56,0	49,3
e 1912/3	89,5	75,0	35,0	34,5	36,5	30,5	39,0	72,5	51,6
d 1912/3 (3)	150,0	111,0	56,0	39,5	43,0	39,0	54,0	105,0	74,7
j 1913 (3)	29,5	29,0	18,0	22,0	30,5	24,0	23,0	29,0	25,6
d (3)	150,0	111,0	56,0	39,5	43,0	39,0	54,0	105,0	74,7
e (4)	89,5	75,0	35,0	34,5	36,5	30,5	39,0	72,5	51,6
j (7)	49,0	41,3	26,0	32,0	45,0	32,8	31,3	42,5	37,5
y	96,2	75,8	39,0	35,3	41,3	34,1	41,4	73,3	54,6
Little America 1929*									
j 1929 (2,5)	75,5	74,5	63,0	72,5	78,5	104,5	84,0	62,5	77,0
e 1929 (2)	94,5	80,0	54,5	62,0	121,5	123,5	109,5	75,5	90,1
y	85,0	77,3	58,8	67,3	100,0	114,0	96,8	69,0	83,6
Port-Martin 1951 - 1952									
j 1951	142,2	128,4	72,0	69,0	84,6	91,8	84,0	93,6	95,7
e 1951 (3)	225,6	191,4	116,4	90,0	96,6	97,2	118,2	164,4	137,4
d 1951/2 (2,5)	409,8	311,4	164,4	106,8	105,6	109,2	153,0	274,2	204,3
y	259,2	210,4	117,6	88,6	95,6	99,4	118,4	177,4	145,8
Thulé									
1947									
d (2)	31,7	36,0	47,0	50,0	49,3	66,0	53,7	45,3	47,4
e	90,3	79,3	88,7	119,3	173,3	192,7	148,7	115,3	126,0
j	125,7	105,0	117,0	212,3	320,7	338,0	259,0	172,0	206,2
y	82,4	73,4	84,2	127,2	181,1	198,9	153,8	110,9	126,5
1947-48									
d	45,7	35,0	43,0	59,0	73,3	73,7	65,7	56,3	56,5
e	75,3	73,0	78,0	97,7	142,3	152,0	125,0	100,3	105,4
j	113,7	96,0	105,3	173,0	265,7	273,7	195,0	150,7	171,6
y	78,2	68,0	75,4	109,9	160,4	166,5	128,6	102,4	111,2
Heures TU	a _j								A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes
Thulé (suite)									
1948-49									
d	56,7	44,0	48,3	62,3	74,7	86,3	81,0	64,7	64,7
e	75,0	64,7	67,0	98,0	152,0	171,0	121,7	86,3	104,4
j	99,3	78,7	89,0	160,0	240,0	269,7	178,0	120,7	154,4
y	77,0	62,5	68,1	106,8	155,6	175,7	126,9	90,6	107,9
1950-51									
d	71,0	53,3	59,0	69,0	74,7	84,7	84,0	69,0	70,6
e	99,7	88,3	80,3	123,0	154,0	160,7	132,3	110,7	118,7
j	119,0	97,7	115,3	173,0	253,0	289,3	196,0	147,7	173,8
y	95,9	79,8	84,9	121,7	160,6	178,2	137,4	109,1	121,0
1951-52									
d	72,7	64,0	62,3	75,7	96,7	99,7	102,0	86,3	82,4
e (2)	96,7	80,7	84,3	124,7	167,0	190,7	171,3	153,0	133,5
j	112,0	93,0	98,3	146,7	233,7	245,0	163,7	135,7	153,5
y	93,8	79,2	81,6	115,7	165,8	178,5	145,7	125,0	123,2
Godhavn									
1940									
d (2)	156,2	101,8	92,0	114,0	163,8	156,8	114,4	129,6	128,6
e	113,4	97,8	106,2	166,8	211,8	169,2	141,0	114,6	140,1
j	118,2	112,8	135,6	250,8	312,0	243,6	162,0	129,6	183,1
y	129,3	104,1	111,3	177,2	229,2	189,9	139,1	124,6	150,6
1940-41									
d	155,4	103,2	103,8	124,8	155,4	129,0	93,6	137,4	125,3
e	132,6	94,2	94,2	157,8	217,2	166,2	117,0	122,4	137,7
j	93,0	82,8	121,2	186,0	241,8	176,4	114,6	100,2	139,5
y	127,0	93,4	106,4	156,2	204,8	157,2	108,4	120,0	134,2
1941-42									
d	94,8	75,6	58,2	86,4	111,6	97,2	64,2	75,0	82,9
e	112,8	89,4	104,4	162,0	235,8	173,4	122,4	132,0	141,5
j	76,8	63,0	91,8	186,0	214,8	169,2	116,4	105,6	127,9
y	94,8	76,0	84,8	144,8	187,4	146,6	101,0	104,2	117,4
1942-43									
d	131,4	73,2	66,0	91,2	99,6	90,0	63,6	91,2	88,3
e	133,0	92,6	93,6	169,7	230,9	165,3	125,8	144,5	144,4
j	139,8	103,8	133,2	225,6	270,0	247,2	144,6	137,4	175,2
y	135,2	90,5	98,4	163,0	200,2	168,3	112,2	125,0	136,6
1943-44									
d	180,7	104,3	93,2	110,3	121,5	112,8	136,3	165,5	126,9
e	133,6	74,5	74,5	134,6	160,7	132,6	93,0	107,9	113,9
j	89,6	69,8	87,4	148,3	182,3	147,7	109,6	81,7	114,6
y	134,6	82,9	85,0	127,7	154,8	131,0	113,1	118,4	118,5
1944-45									
d	76,7	74,4	67,9	81,3	86,5	79,9	58,2	63,4	73,5
e	97,6	65,6	72,1	139,8	164,7	141,4	99,6	92,0	109,1
j	74,5	73,6	89,2	160,5	190,4	192,0	104,3	80,4	120,6
y	82,9	71,2	76,4	127,2	147,2	137,8	87,4	78,6	101,1
1945-46									
d	111,0	100,2	104,1	120,5	132,9	107,5	78,1	93,7	106,0
e	140,2	108,4	140,7	184,7	248,7	229,7	132,8	118,1	162,9
j	127,1	115,8	156,1	246,7	308,7	302,5	190,4	144,5	199,0
y	126,1	108,1	133,6	184,0	230,1	213,2	133,8	118,8	156,0
1946-47									
d	70,1	67,8	64,5	82,5	97,1	83,9	49,6	51,8	70,9
e	94,2	104,8	195,2	240,4	261,9	267,0	156,1	112,5	179,0
j	112,7	108,3	152,4	263,6	357,2	338,3	224,3	147,0	213,0
y	92,3	93,6	137,4	195,5	238,7	229,7	143,3	103,8	154,3
1947-48									
d	60,5	61,0	76,4	142,0	133,3	114,9	62,8	57,8	88,6
e	89,5	79,6	93,8	131,6	188,3	184,2	115,0	113,5	125,7
j	112,4	108,0	143,4	238,2	331,6	303,3	178,0	129,2	193,0
y	87,5	82,9	104,5	170,6	221,1	200,8	118,6	100,2	135,8

* Les amplitudes de cette station sont en temps du 195°E

TABLEAU II (suite)

Heures TU	a _i								A	Heures TU	a _i								A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes		0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes
Godhavn (suite)																			
1948-49																			
d	108,0	92,7	76,0	82,5	114,6	110,8	82,0	94,3	95,1	d	53,3	90,8	135,8	260,0	255,6	199,2	135,6	75,6	150,7
e	97,2	79,9	91,3	145,2	205,2	191,4	119,5	85,2	126,9	e	104,2	147,5	339,2	411,7	326,7	295,0	140,0	95,0	232,4
j	101,9	83,8	135,9	235,5	292,5	272,8	151,3	121,2	174,4	j	135,0	158,3	222,5	246,7	225,6	190,0	102,5	85,8	170,8
y	102,4	85,5	101,2	154,4	204,1	191,7	117,6	100,2	132,1	y	97,5	132,2	232,5	306,1	269,3	228,1	126,0	85,5	184,7
1949-50																			
d	106,5	85,4	83,8	103,7	135,9	120,6	86,5	76,0	99,8	d	93,3	110,8	230,8	373,3	320,8	245,0	156,7	95,8	203,3
e	150,2	118,0	116,3	165,7	243,6	191,4	133,5	126,4	155,6	e	146,7	170,8	322,5	514,2	440,0	385,8	205,8	125,0	288,9
j	125,4	97,7	119,5	250,3	327,6	297,3	171,4	145,2	191,8	j	137,5	175,0	260,8	378,3	290,0	255,0	122,5	98,3	214,7
y	127,4	100,4	106,5	173,2	235,7	203,1	130,5	115,8	149,1	y	125,8	152,2	271,4	421,9	350,3	295,3	161,7	106,4	235,6
1950-51																			
d	198,4	137,2	124,3	125,4	163,2	140,3	125,8	153,3	146,0	d	110,8	124,1	232,4	414,8	469,0	364,0	184,1	104,1	250,7
e	236,1	164,6	150,7	251,7	327,0	243,6	181,4	183,2	217,3										
j	155,2	116,6	155,2	270,0	359,9	358,7	203,2	168,9	223,5										
y	196,6	139,5	143,4	215,7	283,4	247,5	170,1	168,5	195,6										
1951-52																			
d	208,8	171,6	141,0	171,6	190,8	163,2	118,8	198,6	170,6										
e	228,6	145,8	143,4	220,2	288,6	238,8	170,4	212,4	206,0										
j	163,2	138,6	139,8	282,6	349,8	272,4	163,2	162,0	209,0										
y	200,2	152,0	141,4	224,8	276,4	224,8	150,8	191,0	195,2										
College																			
1941-42																			
d	59,3	80,0	145,8	295,8	245,8	203,3	109,2	61,2	150,1	d (2)	128,5	54,5	39,0	38,0	103,0	170,0	224,0	177,0	116,8
e	121,7	146,7	268,3	483,3	405,0	351,7	170,0	90,0	254,6	e	185,0	110,5	58,0	76,5	94,5	135,0	225,0	222,5	138,4
j	83,8	119,2	161,7	264,2	194,2	150,8	82,5	62,5	139,9	j	137,0	45,0	40,5	82,0	102,5	91,5	134,5	147,5	97,6
y	88,3	115,3	191,9	347,8	281,7	235,3	120,6	71,2	181,5	y	150,2	70,0	45,8	65,5	100,0	132,2	194,5	182,3	117,6
1942-43																			
d	58,3	67,5	154,2	345,0	301,7	189,2	90,8	55,0	157,7										
e	135,0	155,8	305,8	544,4	397,5	261,7	129,2	90,8	252,5										
j	134,3	185,8	290,8	449,2	360,0	270,0	114,2	93,3	237,2										
y	109,2	136,4	250,3	446,2	353,1	240,3	111,4	79,7	215,8										
1943-44																			
d	80,0	89,2	232,5	413,3	394,2	275,0	120,0	84,2	211,1										
e	89,2	108,3	172,5	351,7	250,0	157,5	82,5	60,0	159,0										
j	72,5	87,5	130,8	215,8	178,3	104,2	55,8	47,5	111,6										
y	80,6	95,0	178,6	326,9	274,2	178,9	86,1	63,9	160,5										
1944-45																			
d	50,0	64,2	99,2	231,7	234,2	170,0	81,7	49,3	122,5										
e	65,8	68,3	159,2	331,7	261,7	176,7	94,2	64,2	152,7										
j	78,3	92,5	104,2	158,2	134,2	113,3	60,0	45,8	98,4										
y	64,7	75,0	120,9	240,9	210,0	153,3	78,6	53,1	124,6										
1945-46																			
d	70,8	78,3	155,0	340,8	296,7	187,5	99,2	70,0	162,3										
e	137,5	156,7	275,0	432,5	395,0	321,7	165,8	100,8	249,0										
j	138,3	171,7	222,5	272,5	260,8	211,7	144,2	91,7	189,2										
y	115,5	135,6	217,5	348,6	317,5	240,3	136,4	87,5	199,9										
1946-47																			
d	50,0	68,3	158,3	256,7	251,7	182,5	76,7	51,7	134,5										
e	124,2	165,0	375,8	410,0	357,5	359,2	225,0	150,0	270,8										
j	148,3	180,0	220,0	281,7	240,8	221,7	135,8	110,0	192,3										
y	107,5	137,8	251,4	316,1	283,3	247,8	145,8	103,9	199,2										
1947-48																			
d	55,0	68,3	141,7	298,3	311,7	223,3	116,7	64,2	159,9										
e	103,3	150,0	207,5	374,2	287,5	254,2	116,7	87,5	197,6										
j	124,2	147,5	192,5	233,3	200,0	199,2	107,5	87,5	161,5										
y	94,2	121,9	180,6	301,9	266,4	225,6	113,6	79,7	173,0										
1948-49																			
d	77,5	86,7	190,8	338,3	290,0	249,2	155,8	76,7	183,1										
e	90,8	106,7	228,3	325,0	257,5	245,0	150,8	80,0	185,5										
j	109,2	121,7	134,2	170,8	200,8	187,5	101,7	78,3	138,0										
y	92,5	105,0	184,4	278,0	249,4	227,2	136,1	78,3	168,9										
College (suite)																			
1949-50																			
d	53,3	90,8	135,8	260,0	255,6	199,2	135,6	75,6	150,7										
e	104,2	147,5	339,2	411,7	326,7	295,0	140,0	95,0	232,4										
j	135,0	158,3	222,5	246,7	225,6	190,0	102,5	85,8	170,8										
y	97,5	132,2	232,5	306,1	269,3	228,1	126,0	85,5	184,7										
1950-51																			
d	93,3	110,8	230,8	373,3	320,8	245,0	156,7	95,8	203,3										
e	146,7	170,8	322,5	514,2	440,0	385,8	205,8	125,0	288,9										
j	137,5	175,0	260,8	378,3	290,0	255,0	122,5	98,3	214,7										
y	125,8	152,2	271,4	421,9	350,3	295,3	161,7	106,4	235,6										
1951-52																			
d	110,8	124,1	232,4	414,8	469,0	364,0	184,1	104,1	250,7										
Sodankylä																			
1940																			
d (2)	128,5	54,5	39,0	38,0	103,0	170,0	224,0	177,0	116,8										
e	185,0	110,5	58,0	76,5	94,5	135,0	225,0	222,5	138,4										
j	137,0	45,0	40,5	82,0	102,5	91,5	134,5	147,5	97,6										
y	150,2	70,0	45,8	65,5	100,0	132,2	194,5	182,3	117,6										
1940-41																			
d	130,0	61,0	48,5	55,5	94,5	149,0	211,5	220,0	121,3										
e	177,0	91,0	74,5	86,5	125,0	159,5	246,0	274,5	154,2										
j	142,0	72,5	54,5	88,5	97,0	87,0	136,5	159,5	104,7										
y	149,7	74,8	59,2	76,8	105,5	131,8	198,0	218,0	126,7										
1941-42																			
d	107,5	61,0	38,5	51,0	77,0	123,0	170,0	170,5	99,8										
e	195,0	121,0	77,0	102,5	129,0	183,0	257,0	269,0	166,7										
j	123,5	57,0	43,0	69,0	80,0	82,5	136,5	155,0	93,3										
y	142,0	79,7	52,3	74,2	95,3	129,5	187,8	198,2	119,9										
1947																			
d (2)	78,5	50,5	34,5	36,5	67,0	101,0	156,0	151,0	84,4										
e	192,0	113,0	72,5	98,5	141,5	170,0	247,0	259,5	161,8										
j	180,5	107,5	59,0	102,0	128,5	125,0	129,0	194,0	128,2										
y	150,3	90,3	55,3	79,0	112,3	132,0	177,3	201,5	124,8										
1947-48																			
d	112,0	47,5	33,5	41,0	83,5	109,0	137,5	149,0	89,1										
e	182,5	97,5	77,0	79,0	115,5	141,0	191,0	220,5	138,0										
j	169,5	94,0	75,5	92,5	119,5	104,0	129,0	162,5	118,3										
y	154,7	79,7	62,0	70,8	106,2	118,0	152,5	177,3	115,1										
1948-49																			
d	177,0	92,5	52,0	50,5	74,5	135,0	193,5												

TABLEAU II (suite et fin)

Heures TU	a _j								A	Moyennes
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24		
Sitka (suite)										
1940-41										
d	29,0	45,3	84,7	107,3	104,0	57,7	35,0	25,0	61,0	
e	36,0	69,7	103,3	129,7	109,7	70,7	50,0	40,0	76,1	
j	44,7	57,0	91,7	90,7	76,0	41,3	29,7	29,7	57,6	
y	36,6	57,3	93,2	109,2	96,6	56,6	38,2	31,6	64,9	
1941-42										
d	23,0	43,0	63,0	85,7	73,7	49,0	29,0	20,0	48,3	
e	54,3	84,0	113,0	143,0	144,0	82,0	52,0	35,7	88,5	
j	32,0	55,3	66,0	68,0	45,0	35,7	28,0	27,3	44,7	
y	36,4	60,8	80,7	98,9	87,6	55,6	36,3	27,7	60,5	
1942-43										
d	28,7	38,0	70,0	93,3	74,7	46,0	34,0	22,3	50,8	
e	59,3	85,3	132,7	178,3	131,7	62,3	44,0	40,3	91,7	
j	68,0	99,0	145,0	154,0	121,7	64,7	42,7	44,0	92,4	
y	52,0	74,1	115,9	141,8	109,4	57,7	40,2	35,5	78,3	
1943-44										
d	31,3	50,0	88,7	104,3	117,7	68,7	41,3	31,0	66,6	
e	43,0	61,3	93,7	104,0	73,7	42,3	32,0	28,3	59,8	
j	33,7	41,7	61,7	57,3	44,3	29,7	26,3	28,0	40,3	
y	36,0	51,0	81,4	88,5	78,6	46,9	33,2	29,1	55,6	
1944-45										
d	23,0	41,3	45,0	68,7	67,0	54,7	33,0	21,7	44,3	
e	30,3	35,0	61,0	106,7	78,7	48,3	34,0	28,3	52,7	
j	36,0	49,3	45,7	49,0	35,0	29,3	25,7	27,3	37,2	
y	29,8	41,9	50,6	74,8	60,2	44,1	30,9	25,8	44,8	
1945-46										
d	30,7	48,7	71,7	109,7	79,7	60,3	37,0	30,0	58,5	
e	65,3	81,7	149,3	175,7	165,3	129,3	60,0	42,3	108,6	
j	64,7	76,7	115,7	101,7	81,7	51,0	43,7	39,3	71,8	
y	53,6	69,0	112,2	129,0	108,9	80,2	46,9	37,2	79,6	
1946-47										
d	16,3	31,3	58,7	78,7	78,3	53,3	29,3	19,3	45,7	
e	62,0	85,3	192,0	227,3	179,7	117,3	62,3	51,3	122,2	
j	63,7	80,7	101,3	130,0	95,7	73,3	45,3	48,7	79,8	
y	47,3	65,8	117,3	145,3	117,9	81,3	45,6	39,8	82,5	
1947-48										
d	21,0	28,7	59,3	86,3	115,3	57,3	36,7	22,3	53,4	
e	46,3	75,3	111,7	144,0	111,7	71,3	44,0	36,7	80,1	
j	55,7	61,0	90,0	98,3	77,3	65,0	43,3	44,0	66,8	
y	41,0	55,0	87,0	109,5	101,4	64,5	41,3	34,3	66,8	
1948-49										
d	41,3	60,0	89,3	114,7	103,3	73,3	63,7	32,3	72,2	
e	36,0	59,3	109,0	128,7	106,0	74,0	49,7	33,0	74,5	
j	59,3	59,7	61,3	64,0	68,3	53,7	35,7	36,3	54,8	
y	45,5	59,7	86,5	102,5	92,5	67,0	49,7	33,9	67,2	
1949-50										
d	22,3	43,0	71,7	76,7	71,7	53,0	40,7	23,3	50,3	
e	47,3	81,7	138,0	171,7	123,0	84,7	42,0	35,7	90,5	
j	75,3	89,7	101,7	101,3	77,3	52,0	40,3	43,7	72,7	
y	48,3	71,5	103,8	116,6	90,6	63,2	41,0	34,2	71,2	
1950-51										
d	36,7	55,0	112,0	121,7	102,0	76,0	46,3	33,3	72,9	
e	70,0	97,0	163,7	197,7	175,3	121,0	71,3	53,7	118,7	
j	67,3	95,0	133,0	143,7	103,3	65,7	48,0	48,3	88,0	
y	58,0	82,3	136,2	154,4	126,9	87,6	55,2	45,1	93,2	
1951-52										
d	41,7	76,7	103,7	137,3	129,0	98,3	51,7	38,3	84,6	

Heures TU	a _j								A	Moyennes
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24		
Niemegk										
1940										
d (2)	22,9	18,0	11,5	14,0	27,1	39,4	44,1	33,4	26,3	
e	40,6	25,9	13,9	19,0	19,4	33,7	44,8	37,7	29,4	
j	22,0	21,7	12,0	18,7	26,6	28,2	27,4	22,5	22,4	
y	28,5	21,9	12,5	17,2	24,4	33,8	38,8	31,2	26,0	
1940-41										
d	26,0	18,8	11,2	16,7	23,3	36,0	42,0	36,3	26,3	
e	34,0	27,2	20,2	23,8	31,5	46,5	50,2	48,0	35,2	
j	28,0	21,0	18,7	22,8	32,7	28,2	27,8	27,2	25,8	
y	29,3	22,3	16,7	21,1	29,2	36,9	40,0	37,2	29,1	
1941-42										
d	24,7	19,0	13,0	17,2	21,0	25,0	28,7	29,8	22,3	
e	35,3	24,8	25,2	29,3	34,2	49,0	45,2	39,0	35,3	
j	23,5	18,5	14,2	19,3	25,7	28,8	29,5	24,5	23,0	
y	27,8	20,8	17,5	21,9	27,0	34,3	34,5	31,1	26,9	
1942-43										
d	25,3	15,7	11,3	17,7	21,2	31,5	36,2	32,7	24,0	
e	37,0	27,3	20,7	27,0	31,2	41,5	50,7	42,5	34,7	
j	34,5	30,7	26,0	28,5	35,5	41,5	36,3	36,7	33,7	
y	32,3	24,6	19,3	24,4	29,3	38,2	41,1	37,2	30,8	
1943-44										
d	26,0	19,8	15,7	19,7	28,8	46,3	47,8	37,2	30,2	
e	28,2	18,7	16,0	18,2	20,2	28,2	35,5	34,7	25,0	
j	20,5	15,5	11,7	15,5	20,0	21,8	20,7	19,5	18,2	
y	24,9	18,0	14,5	17,8	23,0	32,1	34,7	30,5	24,4	
1946-47										
d	20,8	18,8	18,2	21,2	21,7	27,7	29,0	27,2	23,1	
e	38,7	33,5	42,2	45,5	43,3	50,8	47,7	50,3	44,0	
j	34,2	37,2	33,2	43,8	41,5	43,2	30,2	29,5	36,6	
y	31,2	29,8	31,2	36,8	35,5	40,6	35,6	35,7	34,6	
1947-48										
d	26,7	19,3	20,5	25,2	26,8	33,7	35,8	31,7	27,5	
e	30,3	29,7	30,7	32,2	34,2	38,0	34,2	39,8	33,6	
j	30,8	36,3	32,7	45,0	40,7	40,2	30,5	30,8	35,8	
y	29,3	28,4	28,0	34,1	33,9	37,3	33,5	34,1	32,3	
1948-49										
d	34,5	24,5	18,7	21,8	24,2	31,8	44,2	39,8	30,0	
e	32,0	22,3	20,7	22,2	24,7	35,0	36,0	34,5	28,4	
j	24,5	20,7	16,3	21,5	27,2	32,8	25,7	25,2	24,2	
y	30,3	22,5	18,6	21,8	25,4	33,2	35,3	33,2	27,5	
1949-50										
d	25,0	19,7	15,2	16,3	17,3	28,8	35,7	30,5	23,6	
e	25,7	25,3	23,2	22,7	26,5	37,8	45,2	42,3	31,1	
j	33,3	26,5	17,8	23,3	29,2	33,5	30,8	33,5	28,5	
y	28,0	23,8	18,7	20,8	24,3	33,4	37,2	35,4	27,7	
1950-51										
d	32,8	24,3	20,0	21,7	26,0	39,7	49,5	42,3	32,0	
e	43,7	31,3	26,3	31,2	39,0	52,5	60,2	53,3	42,2	
j	35,2	26,7	22,5	25,0	31,7	38,5	38,0	41,5	32,4	
y	37,2	27,4	22,9	26,0	32,2	43,6	49,2	45,7	35,5	
1951-52										
d	36,3	26,2	21,8	24,5	32,8	47,0	56,5	50,0	36,9	

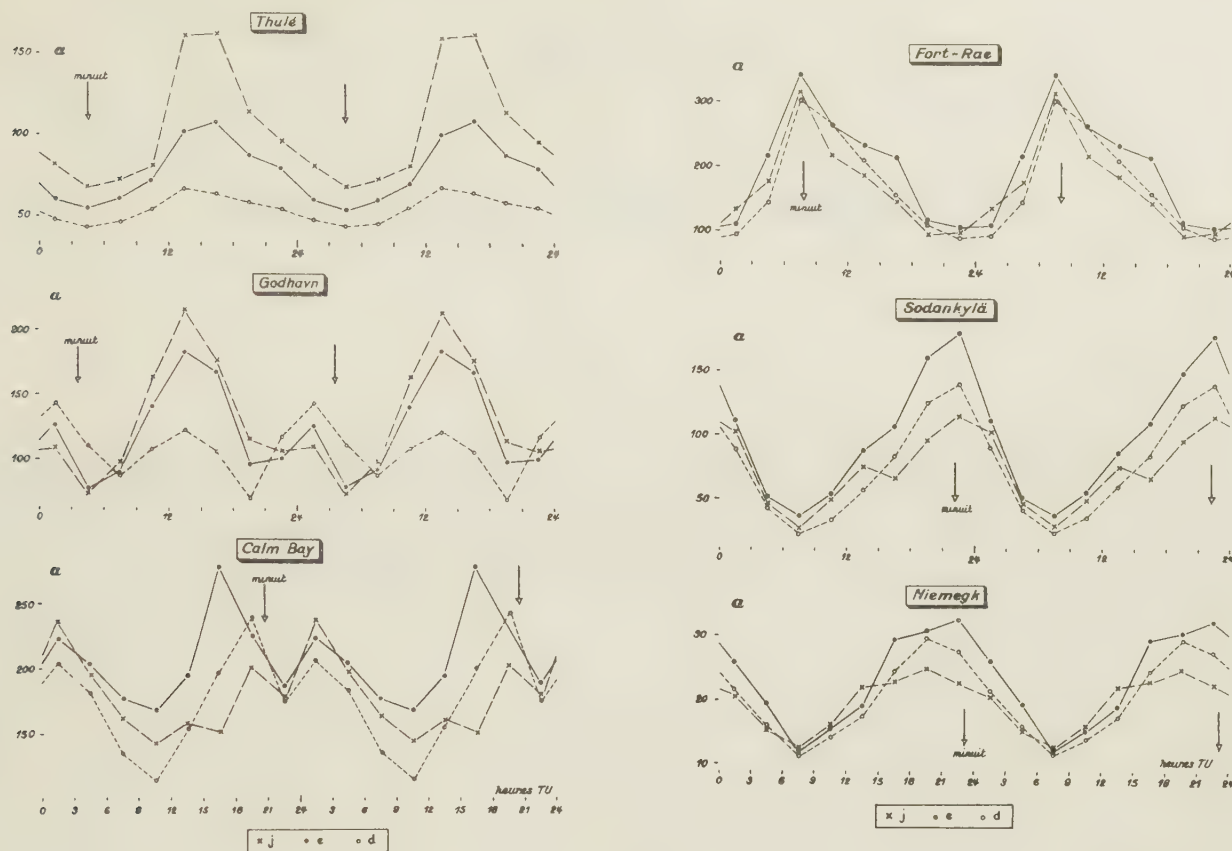
TABLEAU III

Amplitudes a_i et A des jours calmes et perturbés

JOURS CALMES										JOURS PERTURBES									
Heures TU	a _i								A	Heures TU	a _i								A
	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes		0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	Moyennes
IIème ANNEE POLAIRE INTERNATIONALE										IIème ANNEE POLAIRE INTERNATIONALE									
Th	34.0	26.7	33.0	47.7	62.3	57.3	45.0	39.0	43.1	Th	91.3	99.0	100.0	113.7	167.7	186.3	150.0	143.7	131.5
Go	51.5	33.5	48.2	84.7	78.1	76.1	51.3	45.3	58.6	Go	193.4	162.4	152.9	200.1	304.2	230.4	169.8	255.1	208.5
Sv	68.8	69.1	56.9	47.0	41.1	38.2	56.4	68.1	55.7	Sv	168.9	177.1	155.6	142.9	137.2	190.1	213.6	201.6	173.4
CB	124.5	92.2	65.4	62.6	57.2	70.4	94.6	74.7	80.2	CB	365.2	297.9	287.6	223.5	345.9	412.6	386.1	336.7	332.0
JM	70.0	43.3	26.7	23.0	33.3	29.7	57.0	87.0	46.3	JM	281.3	248.3	234.7	155.7	159.7	229.3	313.3	311.3	241.7
Be	72.0	33.5	26.5	31.5	31.5	34.5	84.5	86.0	50.0	Be	245.0	218.0	144.5	141.0	185.5	260.5	377.5	326.0	237.3
Sc	86.0	73.5	63.5	38.0	45.5	50.0	44.5	88.0	61.1	Sc	260.0	249.5	271.0	201.0	197.0	220.0	259.5	307.0	245.6
An	128.3	74.3	64.0	39.0	35.1	44.8	49.1	102.8	67.2	An	278.5	256.7	288.7	204.1	194.9	218.1	257.3	347.0	255.7
Ju	165.0	101.6	62.3	34.3	30.6	38.2	39.8	90.3	70.3	Ju	424.6	325.7	319.5	232.9	175.2	244.1	293.1	453.6	308.6
FR	45.7	53.8	144.8	127.4	65.4	34.7	57.0	29.2	69.8	FR	218.2	357.5	508.9	382.4	391.9	397.3	256.0	203.1	339.4
PB	20.5	21.0	26.0	62.5	43.5	25.0	22.0	20.5	30.1	PB	66.0	69.5	126.5	217.0	198.0	189.0	146.0	94.0	138.3
Tr	78.0	26.0	14.7	20.7	22.0	23.3	51.3	68.0	38.0	Tr	357.3	226.7	101.3	116.0	176.7	270.7	395.3	504.7	268.6
Pe	38.0	16.5	15.5	23.0	22.5	19.0	37.0	44.0	26.9	Pe	294.5	150.0	74.1	127.0	212.5	319.0	448.5	468.0	261.7
Ai	44.5	14.5	17.0	15.5	20.0	24.5	33.0	52.5	27.7	Ai	350.0	177.5	85.0	94.5	189.5	269.0	412.0	500.5	259.8
So	27.0	13.0	12.0	15.0	16.5	14.5	21.5	23.0	17.8	So	235.0	119.5	71.0	89.5	205.5	253.5	344.0	390.5	213.6
MS	46.5	24.0	21.5	24.0	30.5	42.0	83.0	70.5	42.8	MS	336.0	200.5	144.5	146.0	277.5	457.0	479.0	460.0	312.6
Di	31.3	19.0	26.3	29.7	35.0	38.7	70.0	48.3	37.3	Di	267.3	159.7	154.0	211.0	339.3	405.0	514.3	412.3	307.9
Co	24.0	19.5	29.5	47.5	28.0	16.5	14.0	14.5	24.2	Co	126.5	156.5	281.0	488.5	486.5	395.5	186.0	114.5	279.4
Ka	15.7	10.7	13.0	9.3	13.3	10.3	14.7	14.3	12.7	Ka	97.7	56.0	44.7	52.3	114.0	153.7	168.7	159.0	105.9
Do	12.3	6.8	5.8	7.8	10.1	12.3	14.0	13.2	10.3	Do	83.8	52.8	34.0	34.2	74.5	100.2	134.2	121.2	79.4
Le	14.7	10.0	12.0	12.7	18.0	17.7	10.7	15.0	13.9	Le	80.3	65.3	42.7	32.7	68.0	106.0	138.0	132.0	83.1
Me	13.5	18.5	25.0	20.0	13.5	11.5	11.0	14.0	15.9	Me	88.0	180.5	268.5	289.5	230.5	139.5	85.0	86.5	171.0
Si	12.3	11.7	18.0	18.7	13.7	11.7	13.7	9.0	13.6	Si	44.3	90.3	126.3	132.0	153.0	109.3	68.3	55.0	97.3
Es	10.5	7.5	8.8	10.3	12.0	11.8	8.8	10.5	10.0	Es	50.0	39.0	33.8	21.8	50.8	71.0	75.8	72.0	51.8
Lo	9.6	6.6	9.6	10.4	10.2	7.4	6.6	9.2	8.7	Lo	44.4	35.0	28.8	31.4	54.8	72.2	66.4	69.4	50.3
Ag	11.4	11.6	8.4	6.8	6.0	6.6	8.0	9.8	8.6	Ag	69.0	65.0	60.6	45.2	44.2	43.6	48.4	66.8	55.4
RS	7.4	5.6	5.8	5.6	5.8	5.6	6.6	8.4	6.4	RS	41.2	33.4	25.8	23.4	43.6	66.4	75.6	62.8	46.5
Ab	10.2	9.2	9.5	9.8	11.0	10.2	9.7	10.5	10.0	Ab	38.5	35.2	28.0	27.8	41.0	55.8	62.0	54.5	42.9
VJ	9.8	8.2	8.0	6.8	7.7	7.0	8.2	9.0	8.1	VJ	30.5	26.3	22.0	21.7	27.8	37.5	50.2	43.0	32.4
Ch	9.7	8.8	7.8	7.2	5.2	5.8	8.3	9.0	7.7	Ch	46.3	49.7	38.7	32.3	31.0	30.0	36.8	49.8	39.3
Ni	9.8	8.0	6.2	7.5	7.3	7.8	8.5	9.7	8.1	Ni	38.5	33.5	23.8	26.0	40.7	61.0	67.2	59.5	43.8
Wa	3.4	3.6	3.6	3.5	3.7	3.5	3.5	3.7	3.6	Wa	12.0	14.0	15.7	17.9	25.0	27.6	21.5	17.2	18.9
To	16.1	16.8	14.6	11.0	11.1	8.1	11.5	15.1	13.0	To	19.0	24.6	25.8	31.8	36.5	33.8	29.4	26.7	28.4
Am	13.5	9.7	8.7	7.3	5.2	3.8	7.8	11.5	8.4	Am	30.5	34.5	37.7	39.8	37.5	34.5	30.0	31.7	34.5
Or	6.8	4.1	6.4	3.7	3.2	3.2	5.2	5.9	4.8	Or	24.6	19.6	17.4	8.6	10.7	9.8	23.8	31.8	18.3
Thulé (6 années)	39.8	30.5	35.3	63.9	101.1	100.4	69.7	51.2	61.5	Thulé (6 années)	133.6	122.7	128.6	172.6	234.6	250.0	216.2	168.1	178.3
Godhavn (14 années)	56.0	39.8	51.7	83.2	102.0	96.7	61.4	46.7	66.7	Godhavn (14 années)	203.0	180.3	193.7	270.2	354.4	302.0	213.5	229.0	244.0
College (11 années)	34.2	30.8	37.0	69.3	58.8	37.3	27.0	25.0	39.9	College (11 années)	194.5	278.8	514.0	738.3	653.3	586.7	337.0	173.7	434.5
Sodankylä (9 années)	33.6	19.0	18.4	22.9	26.0	22.8	30.6	41.7	26.9	Sodankylä (9 années)	341.3	220.2	130.6	171.7	259.4	328.2	405.0	406.0	282.6
Sitka (13 années)	14.5	14.1	20.3	22.1	16.7	13.5	13.0	11.6	16.1	Sitka (13 années)	104.0	168.1	240.4	318.0	297.4	189.0	114.9	78.2	188.7
Niemegk (11 années)	11.9	9.8	8.6	11.4	11.7	11.5	12.0	13.3	11.3	Niemegk (11 années)	55.6	48.4	40.1	45.3	56.7	78.0	78.3	69.4	59.0

2.4. - Aspect qualitatif des deux types d'activité N et J

Nous avons fait dans l'Introduction une description morphologique des différences qui existent entre les agitations de jour et de nuit; avant de commencer l'analyse des données d'activité qui, nous le savons, ne sont qu'une mesure approximative de cette agitation, il ne sera pas inutile de voir comment se présente le phénomène de l'agitation sous cette forme élaborée de l'activité.



Variation journalière de l'activité magnétique, en six stations de l'hémisphère Nord et pour les trois saisons, selon les amplitudes absolues tri-horaires.

Figure 7

La figure 7 essaye d'atteindre ce but en montrant les courbes saisonnières (d, e, j) de la variation journalière de l'activité selon les amplitudes moyennes a_i de tous les jours en 6 stations. Ces stations ont des latitudes géomagnétiques décroissantes depuis Thulé, qui est très à l'intérieur de la zone aurorale, jusqu'à Niemegk, qui est à une latitude moyenne. Les graphiques sont tous construits en temps universel et, afin de mieux faire apparaître la forme de la variation journalière, les courbes ont été répétées pour 2 jours consécutifs; la position du minuit local géographique est indiquée dans chaque cas. Les échelles d'ordonnées ne sont pas les mêmes d'un observatoire à l'autre; toutes sont exprimées en gammas, au même titre que les a_i .

A Thulé, nous avons un seul maximum qui est diurne, et dont l'intensité décroît de l'été (j) à l'hiver (d); ce maximum peut avec sûreté être attribué à l'activité J. A Godhavn et à Calm Bay, nous trouvons deux maxima, dont l'un est diurne et possède une variation saisonnière du type précédent. Ce maximum diurne est beaucoup plus intense à Godhavn qu'à Calm Bay; de plus il s'est rapproché à Calm Bay du maximum de nuit par rapport à sa position à Godhavn, ce déplacement ayant lieu vers le matin.

L'intensité du maximum de nuit de Calm Bay a une variation saisonnière qui est du même type que celle des maximum de nuit des 3 autres stations : Fort Rae, Sodankylä et Niemegk; le type de cette variation saisonnière, où la valeur d'équinoxe a une intensité supérieure à celle des autres saisons, correspond à la propriété bien connue de l'activité magnétique en général. Aucun maximum secondaire de l'importance de ceux obtenus aux stations de Godhavn ou Calm Bay n'apparaît en ces 3 dernières stations; l'activité N y est prépondérante. Mentionnons seulement le léger maximum secondaire qui apparaît en été, et seulement en été, à Sodankylä dans l'après-midi; nous aurons à vérifier si ce maximum est significatif ou non de l'activité J à cette latitude.

Nous pouvons enfin remarquer que l'amplitude de la variation journalière est très importante dans tous les cas, bien que ces courbes soient relatives à des valeurs correspondant à tous les jours. D'autre part, à une station telle que Fort Rae, le maximum atteint 300 gammas; ceci signifie que les amplitudes absolues tri-horaires individuelles pour cet intervalle oscillent autour de cette valeur. C'est dire combien l'agitation est intense à de telles latitudes.

Chapitre III

CHOIX D'UN PARAMÈTRE MAGNÉTIQUE

L'activité magnétique est un phénomène dont on admet actuellement que la cause est d'origine corpusculaire, c'est-à-dire qu'elle est due au bombardement, subi par la terre, de corpuscules chargés électriquement*; l'origine de ceux-ci est placée sur le soleil. Parce que la terre, prise dans son ensemble, se comporte comme un aimant dont le champ de force magnétique est encore intense à des distances relativement grandes, les corpuscules seront déviés par ce champ au cours de leur trajet soleil-terre, et de plus la répartition de leurs impacts sur la terre ne sera pas uniforme. Aussi est-il logique, pour étudier la variation de l'activité en latitude, de choisir un paramètre relatif à ce champ de force. Seul le champ au sol est connu expérimentalement par de nombreuses mesures; mais il ne donne qu'une idée très mauvaise du champ qui existe dans l'espace, et qui agit effectivement sur les corpuscules. L'analyse harmonique des valeurs magnétiques au sol a permis d'obtenir une représentation mathématique de ce champ qui entoure la terre. Cette analyse n'utilise nécessairement qu'un nombre limité de termes; aussi, les valeurs calculées pour le champ au sol sont parfois assez différentes des valeurs réelles. Par contre, les valeurs, que l'on peut déduire de cette analyse sphérique pour des distances quelconques, sont sans doute de plus en plus correctes pour des distances de plus en plus grandes; à l'infini, le champ est parfaitement représenté par ce qu'on appelle le champ géomagnétique, déduit des seuls termes du premier ordre de l'analyse sphérique. Ce champ représente encore bien le champ réel à des distances supérieures à 10 rayons terrestres; mais l'approximation devient de moins en moins bonne quand on s'approche de la terre, et il est nécessaire alors de tenir compte des termes des autres ordres de l'analyse sphérique.

3.1. - Signification du paramètre magnétique

Nous chercherons d'abord à préciser en quoi un paramètre relatif au champ de force magnétique de la terre peut être utile, et pour cela, nous raisonnerons sur le champ géomagnétique. Celui-ci présente une symétrie axiale parfaite puisqu'il peut être assimilé au champ d'un doublet. Du point de vue qui nous intéresse, c'est-à-dire l'orientation que ce champ est susceptible d'imposer aux corpuscules, nous sommes plus intéressés par sa forme que par son intensité. Cette forme est définie par deux quantités :

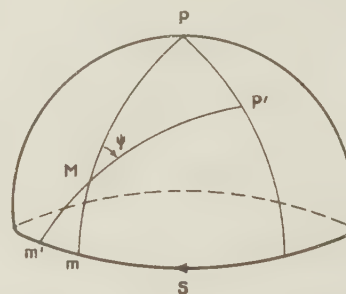
- 1) - l'inclinaison I reliée à la latitude géomagnétique Φ par la formule $\text{tg } I = 2 \text{ tg } \Phi$;
- 2) - l'angle ψ entre le méridien géographique et le méridien géomagnétique (quantité analogue à la déclinaison).

* Les perturbations magnétiques appelées "crochets" sont cependant attribuées à un rayonnement ultra-violet. A cause de leur courte durée et de leur rareté, on peut considérer cependant qu'elles n'interviennent que très faiblement dans les données d'activité. En principe, ils doivent être éliminés de la mesure des indices K ; dans les régions polaires, leur identification, et donc leur élimination, est très difficile.

La première de ces quantités est égale au complément de l'angle que fait, en un lieu donné, la tangente à la ligne de force du champ avec la verticale du lieu; dans le cas du champ géomagnétique, cet angle est le même en tous les points de cette verticale. Au premier abord, il semble qu'une telle donnée ne nous renseigne que très imparfaitement puisque les corpuscules qui arrivent en un lieu n'ont évidemment pas suivi, comme trajectoire, la verticale du lieu; en fait nous pouvons supposer que, dans la dernière partie de leur trajet soleil-terre, ceux-ci épousent la forme des lignes de force*. De ce point de vue, la signification de l'inclinaison I , en un lieu donné, est essentiellement d'individualiser des "tubes de force". En effet, aux valeurs au sol, croissant de 0° à 90° , de cette quantité correspondront des lignes de force qui, partant de la surface de la terre, viendront couper le plan équatorial ou des plans parallèles quelconques à des distances de plus en plus grandes; dans chacun de ces plans une zone bien définie de l'espace correspondra à chaque valeur de I . Considérant qu'en moyenne les régions de l'espace, où les corpuscules commencent à épouser de mieux en mieux la forme des lignes de force, sont toujours les mêmes, on voit que la quantité I permettra, sinon de localiser dans l'espace ces régions, du moins d'identifier les "tubes de force" qui les contiennent. En particulier, elle permettra "d'ordonner" une donnée, telle que les amplitudes A , représentant l'intensité du niveau moyen de l'activité.

De même si nous étudions l'heure du maximum d'intensité de la variation journalière, M_N par exemple, la quantité ψ , définie plus haut, devra également être utilisée; en effet, si les corpuscules sont effectivement orientés par les lignes de force du champ magnétique, ce n'est plus la position des méridiens géographiques par rapport au soleil qui est significative, mais la position des méridiens géomagnétiques.

Nous sommes ainsi amenés à préciser ce qu'on appelle heure géomagnétique : par analogie à la définition du midi géographique, le midi géomagnétique d'un lieu est défini comme l'instant où le soleil passe au méridien géomagnétique de ce lieu. Considérons la sphère céleste avec le pôle géographique P , le pôle géomagnétique P' et une station M de latitude géographique φ (cf. fig. 8). Les méridiens géographique et géomagnétique de ce lieu coupent l'équateur céleste en m et m' . Les midis géographique et géomagnétique sont définis par les moments où le soleil passe en m et m' dans le cas d'une déclinaison nulle du soleil. La différence de temps entre ces deux instants est mesurée par la distance de ces deux points. Celle-ci dans le triangle rectangle sphérique Mmm' , est donnée par la formule :



Définition de l'heure géomagnétique.

Figure 8

$$\text{tg } \overline{mm'} = \sin \varphi \text{ tg } \psi ,$$

où ψ est l'angle entre méridien géographique et méridien géomagnétique en M , compté positivement vers l'Est; dans ces conditions, $\overline{mm'}$ est compté positivement vers l'Ouest. Comptant en heure la quantité $\omega = \overline{mm'}$ et la longitude géographique λ de la station M (comptée vers l'Est), l'heure TU du minuit géomagnétique, que nous noterons Γ , est donnée par

$$\Gamma = 24 + \omega - \lambda.$$

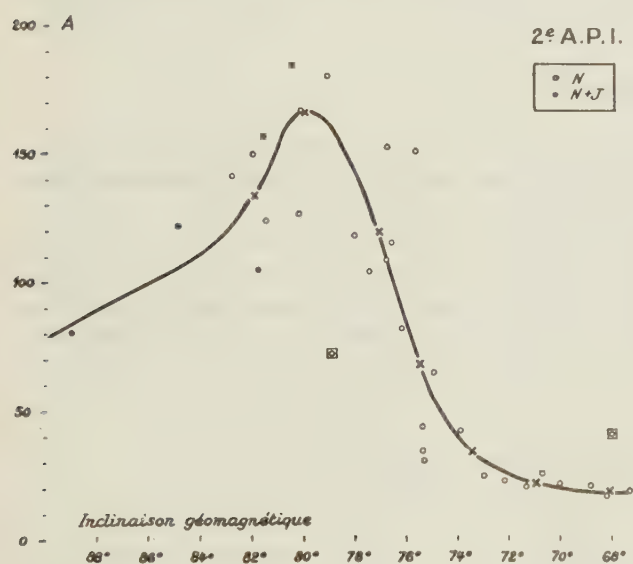
Ce calcul, fait pour une déclinaison solaire nulle, est pratiquement encore valable dans le cas d'une déclinaison solaire égale à $\pm 23^\circ$, puisque, selon A. G. Mac Nish (14), la correction nécessaire ne dépasse jamais le tiers d'une heure.

* Une telle hypothèse se réfère, soit à une théorie du type C. Störmer, où il est montré que la dernière partie de la trajectoire des corpuscules a un haut degré de contact avec les lignes de force, soit à une théorie du type D. F. Martyn, où il est montré que les corpuscules viennent de l'anneau équatorial sur la zone aurorale en suivant les lignes de force.

De tels paramètres géomagnétiques ont été utilisés, nous l'avons vu, par J. M. Stagg (latitude géomagnétique) et A. P. Nikolsky (latitude et heure géomagnétique). Ces auteurs ont constaté, soit pour l'intensité de l'activité, soit pour l'heure du maximum de l'activité, des écarts relativement importants entre les points expérimentaux et les courbes moyennes exprimant la variation de ces quantités en fonction du champ géomagnétique *. Nous pouvons disposer ici de documents plus nombreux et plus homogènes, et vérifier si ces paramètres sont capables d'ordonner effectivement l'activité. C'est ce que nous ferons tout d'abord en utilisant les données les plus simples et les plus sûres, c'est-à-dire les moyennes annuelles A des amplitudes tri-horaires (moyennes de 2920 nombres) et les heures M_N du maximum des courbes de variation journalière des amplitudes annuelles a_i pour l'ensemble, homogène dans le temps, des 33 observatoires Nord de la IIème A. P. I.

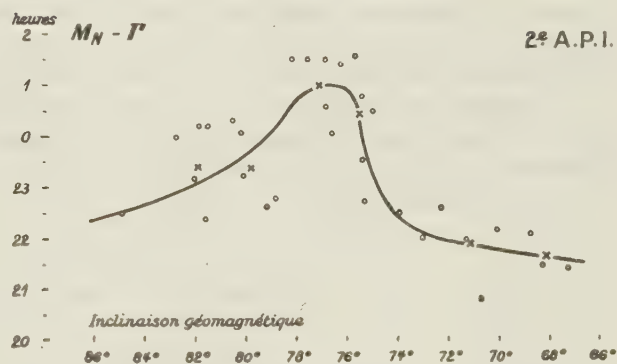
3.2. - Utilisation du champ géomagnétique

Sur la figure 9, sont portées en ordonnées les amplitudes annuelles A_y des observatoires Nord de la IIème A. P. I., les abscisses étant les inclinaisons géomagnétiques I des stations. Comme il semblait important de pouvoir distinguer les observatoires possédant, sur les courbes annuelles de variation journalière, une onde d'activité J de ceux qui ne possèdent que l'onde d'activité N , les premiers sont distingués des seconds par un cercle plein. Une courbe adoucie a été tracée au travers de ces points en se guidant sur les valeurs moyennes de A_y (ou de I) pour les groupes de stations suivantes **: Cd, Sv, Sc, Am, JM; CB, FR, Ju, Be; Tr, Ai, Co, Pe, MS; Di, So, Me, Ka, Le, Do; Si, Es; Lo, RS, Aj, Ab; Ni, VJ, Ch. Les croix indiquent le résultat de ces moyennes. Deux stations, outre Godhavn et Thulé trop isolées en inclinaison ($84^{\circ}9$ et 89°), n'ont pas été incluses dans ces groupes : Point Barrow ($I = 78^{\circ}9$) pour des raisons qui seront exposées ultérieurement, et Yakutsk ($I = 68^{\circ}0$), parce que ne correspondant qu'à 6 mois d'enregistrement; ces deux stations sont distinguées par un carré entourant le cercle.



Variation, en fonction de l'inclinaison géomagnétique, du niveau moyen A de l'activité aux stations de l'hémisphère Nord pour la IIème A. P. I.

Figure 9



Variation, en fonction de l'inclinaison géomagnétique, de l'heure locale géomagnétique $M_N - T$ du maximum de la variation journalière de l'activité N aux stations de l'hémisphère Nord pour la IIème A. P. I.

Figure 10

* De plus, A. P. Nikolsky a comparé les résultats obtenus en utilisant, soit l'heure géomagnétique, soit l'heure géographique. Il a constaté la supériorité de la première, ce qui montre l'intérêt d'une telle donnée.

** Ces groupes de stations ont été constitués en sorte que soient associées les stations d'inclinaison équivalente, et que cependant des stations de longitudes très différentes soient incluses autant que possible dans chaque groupe. Cette remarque est valable pour les deux autres groupements de stations qui seront faits ultérieurement.

La figure 10 présente de manière similaire la variation, avec l'inclinaison, de l'heure géomagnétique $M_N - \Gamma$ du maximum nocturne de la variation journalière de l'activité. Ici, il n'y a pas lieu de distinguer d'une manière spéciale les stations possédant également un maximum d'activité J , puisque nous utilisons le maximum relatif à l'activité N . Une courbe adoucie a été tracée selon la même méthode que pour les amplitudes A . Deux stations ne sont pas employées : Thulé qui n'a pas de maximum M_N , et Yakutsk pour la même raison que plus haut. Point Barrow, par contre, a été inclus dans le deuxième groupe.

Dans le cas des $M_N - \Gamma$, la dispersion des points est très grande. On pourrait penser que la cause en est tout simplement due au fait que les valeurs de M_N sont déduites d'une suite de valeurs tri-horaires; en fait, nous montrerons au chapitre IV que ces valeurs peuvent être considérées comme représentatives à 0,5 h près, spécialement vers 76 à 78° d'inclinaison.

Donc, si on peut deviner la tendance du maximum à se produire plus tard sur la zone aurorale (c'est-à-dire vers 77° d'inclinaison) qu'à l'extérieur ou à l'intérieur, telle qu'elle a été définie par J. M. Stagg et A. P. Nikolsky, le résultat obtenu reste médiocre.

Dans le cas des amplitudes A , nous constatons d'abord que les stations ayant les deux ondes d'activité N et J ne sont pas séparées en abscisses de celles qui n'ont que l'onde N . De plus, dans la région comprise entre 74° et 76° d'inclinaison, bien que nous soyons dans une partie rapidement croissante de la courbe, le rapport des amplitudes de stations de même inclinaison atteint une valeur égale à 5. Enfin, si nous faisons pour Yakutsk une tentative de correction pour rendre sa valeur comparable aux autres stations, nous ne diminuerions l'amplitude A de cette station que de 5 gammas; l'écart à la courbe resterait encore considérable.

Nous constatons donc que les écarts déjà trouvés par J. M. Stagg et A. P. Nikolsky ne sont en rien diminués par l'utilisation de données plus nombreuses et plus homogènes. Le champ géomagnétique est-il donc capable d'ordonner le phénomène ?

3.3. - Utilisation du champ magnétique en altitude

Selon l'hypothèse que le champ de force magnétique oriente les corpuscules, nous sommes logiquement conduits, puisque nous savons que le champ géomagnétique représente mal la forme des lignes de force à moins de 10 rayons terrestres, à essayer de nous servir de données magnétiques représentant plus exactement cette forme.

Le tableau suivant donne, pour des distances successives d du centre de la terre, les parts relatives des termes des quatre premiers ordres de l'analyse sphérique harmonique pour la fonction "potentiel" selon S. Chapman et J. Bartels (15, p. 666); les termes du premier ordre représentent le champ géomagnétique.

d	1er ordre	2ème ordre	3ème ordre	4ème ordre
1	100	8,1	4,5	2,1
2	100	4,0	1,1	0,3
5	100	1,6	0,18	0,017
10	100	0,8	0,045	0,002

On voit donc que, pour $d = 2$, c'est-à-dire à une altitude égale à un rayon terrestre, les termes du deuxième ordre ne sont nullement négligeables. En conséquence, nous essayerons, pour définir la forme du champ, d'utiliser les données existantes sur le champ en altitude.

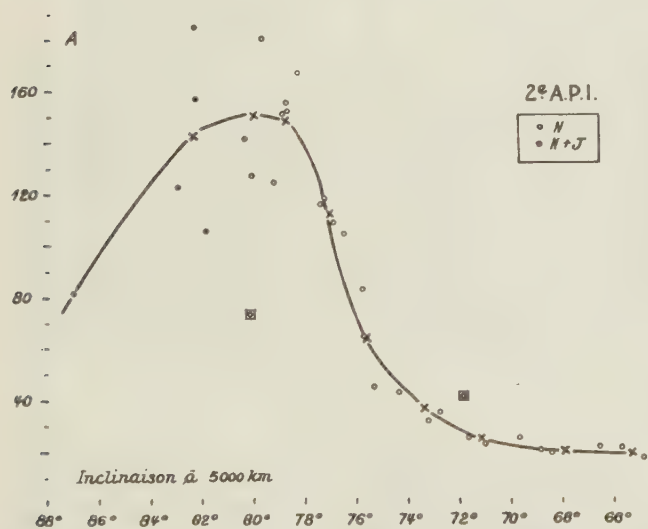
E. H. Vestine a calculé, à partir de son analyse sphérique harmonique pour 1945, les valeurs des composantes X, Y, Z aux altitudes de 100, 300, 500, 1000 et 5000 km pour les intersections des parallèles géographiques de 10° en 10° et des méridiens de 30° en 30° (16).

Des valeurs de Vestine, on peut déduire celles des composantes en un point quelconque par une double interpolation : par exemple, tracer la courbe de variation de X le long de chaque méridien (30°, 60°, ...); lire sur ces courbes la valeur de X pour la latitude φ d'un observatoire;

tracer la courbe de variation de X sur le parallèle de latitude φ ; lire sur cette courbe la valeur de X pour la longitude λ de l'observatoire. Nous avons ainsi mesuré, pour l'ensemble des observatoires, les quantités X, Y, Z aux altitudes de 500, 1000 et 5000 km et en avons déduit les quantités $I' = \text{Arc tg } Z/\sqrt{X^2 + Y^2}$ et $\psi' = \text{Arc tg } Y/X$ analogues aux données géomagnétiques I et ψ . La marge de l'erreur due à l'interpolation peut être considérée comme étant de l'ordre du dixième de degré sur I' , de l'ordre du demi-degré sur ψ' .

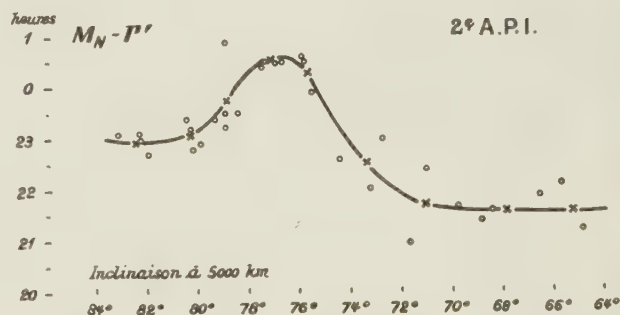
Nous avons précédemment utilisé, en même temps que l'inclinaison géomagnétique, l'heure géomagnétique; il n'y a aucune raison, si nous sommes conduits à abandonner la première, de conserver la seconde. Ainsi il est nécessaire de définir une heure magnétique par analogie avec l'heure géomagnétique. Mais dans ce type de coordonnées magnétiques en altitude, les parallèles ne sont plus des petits cercles de la sphère, mais des courbes de forme elliptique, et les méridiens ne sont plus des grands cercles, mais des courbes gauches. Aussi, alors que le midi géomagnétique était défini par le moment où le soleil traverse le plan contenant le méridien géomagnétique du lieu et le centre de la Terre, nous considérerons ici le plan contenant la tangente à la ligne de force en un lieu et le centre de la terre, et définirons le midi magnétique par l'instant où le soleil traverse ce plan*. Le calcul de l'heure TU du minuit magnétique se fera alors, à partir de ψ' , de manière analogue à celle employée pour le minuit géomagnétique. Nous appellerons cette heure Γ' . Les valeurs de I', ψ' et Γ' pour 5000 km, de I' pour 1000 et 500 km sont données dans le tableau IV avec celles de Λ, Φ, ψ, I et Γ pour les différents observatoires (voir page suivante).

3.3.1 - Champ à 5000 km d'altitude. — Les figures 11 et 12 ont été construites de manière analogue aux figures 9 et 10 et avec les mêmes symboles; elles représentent, en fonction de l'inclinaison à 5000 km d'altitude, la variation d'une part, de l'amplitude annuelle A_y de l'activité et, d'autre



Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, du niveau moyen A de l'activité aux stations de l'hémisphère Nord pour la IIème A. P. I.

Figure 11



Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de l'heure locale magnétique à 5000 km d'altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum de la variation journalière de l'activité N aux stations de l'hémisphère Nord pour la IIème A. P. I.

Figure 12

* Il est bien évident que dans les régions de très haute latitude magnétique (spécialement dans la région située entre pôles géographique et magnétique), une telle heure peut ne plus avoir une grande signification, et nous aurons l'occasion d'en rencontrer un exemple (cf. p. 61, note 1). Mais l'essentiel de la discussion qui suit porte, quand il s'agit de l'heure, sur des stations situées à plus de 20° du pôle.

TABLEAU IV
Coordonnées magnétiques

Observatoires	Indicatifs	Champ Géomagnétique					Champ en altitude à 5000km			Champ en altitude à 3000km 1000km 500km		
		ϕ	Λ	ψ	Γ	I	ψ'	Γ'	I'	I'	I'	I'
Thulé	Th	88°0	0°0	+0°0	4.6	89°0	-40°0	2.0	87°0	86°6	86°2	85°7
Godhavn	Go	79°8	32°5	-17°5	2.4	84°9	-28°0	1.8	83°0	82°6	82°2	81°9
Sveagruvan	Sv	73°9	130°7	-46°2	19.9	81°8	-22°2	21.4	81°9	81°6	80°8	81°0
Calm Bay	CB	71°5	153°3	-32°2	18.4	80°5	-11°8	19.7	82°3	82°8	83°0	83°1
Jan Mayen	JM	73°4	96°3	37°5	22.2	81°5	-24°5	23.0	79°3	79°0	78°5	78°3
Bear Island	Be	71°1	124°5	-37°9	20.3	80°2	-16°7	21.6	80°0	79°8	79°6	79°5
Scoresby Sund	Sc	75°8	81°8	-36°2	23.1	82°8	-28°0	23.7	80°4	79°8	79°0	78°8
Angmagssalik	An	74°2	52°7	-22°5	1.1	82°0	-23°7	1.1	78°9	78°6	78°4	78°2
Chesterfield	Cd	73°5	324°0	+14°9	7.0	81°6	+4°0	6.3	82°3	83°1	84°5	85°0
Juliannehaab	Ju	70°8	35°6	-13°8	2.2	80°1	-21°0	1.9	78°4	78°0	77°5	77°6
Fort Rae	FR	69°0	290°9	+24°1	9.2	79°1	+19°6	8.9	79°8	80°5	81°6	81°8
Pointe Barrow	PB	68°6	241°2	+33°0	12.5	78°9	+25°9	12.1	80°2	80°3	80°7	80°3
Tromsø	Tr	67°1	116°4	-30°8	20.8	78°1	-14°2	21.8	77°4	77°2	77°3	77°1
Petsamø	Pe	64°9	125°8	-27°6	20.2	76°8	-10°9	21.2	76°9	77°1	77°1	77°1
Abisko	Ai	66°0	116°0	-29°3	20.9	77°5	-13°7	21.9	76°6	76°5	76°4	76°4
Sodankylä	So	63°8	120°0	-26°7	20.6	76°2	-11°1	21.5	75°8	75°9	76°0	75°9
Matotchkin Shar	MS	64°8	146°5	-22°4	18.8	76°8	-5°7	19.8	78°8	79°3	80°1	80°2
Dickson	Di	63°0	161°5	-12°8	17.8	75°7	-1°5	18.5	78°9	80°3	81°5	82°2
College	Co	64°5	255°4	+27°0	11.6	76°6	+22°5	11.2	77°5	77°6	77°5	77°2
Kandalachka	Ka	62°5	124°2	-25°0	20.3	75°4	-9°5	21.2	75°5	75°7	75°9	76°0
Dombas	Do	62°3	100°0	-23°6	21.9	75°3	-13°9	22.6	73°2	72°8	72°7	73°1
Lerwick	Le	62°5	88°6	-23°6	22.7	75°4	-15°6	23.2	72°7	72°4	72°3	72°3
Meanook	Me	61°8	301°0	+17°2	8.5	75°0	+15°0	8.4	75°8	76°5	77°7	77°8
Sitka	Si	60°0	275°4	+21°4	10.2	73°9	+19°8	10.1	74°4	74°8	74°9	75°2
Eskadlemuir	Es	58°5	82°9	-20°4	23.1	73°0	-14°5	23.4	69°7	69°5	69°3	69°3
Lovö	Lo	58°1	105°8	-22°1	21.0	72°2	-9°6	21.2	71°0	71°1	71°5	71°8
Agincourt	Ag	55°0	347°0	+3°6	5.4	70°7	-2°7	5.2	71°7	71°9	73°3	74°6
Rude Skov	RS	55°8	98°5	-20°6	22.0	71°3	-11°3	22.6	68°8	68°5	68°9	69°2
Abinger	Ab	54°0	83°3	-18°4	23.0	70°0	-13°5	23.3	66°5	66°3	66°2	66°2
Val Joyeux	VJ	51°3	84°5	-17°2	23.0	68°2	-12°6	23.3	64°8	64°3	64°1	64°5
Yakutsk	Ya	51°0	195°8	+5°0	15.5	68°0	+2°8	15.2	71°9	73°2	75°1	75°8
Cheltenham	Ch	50°1	350°5	+2°4	5.2	67°3	-2°9	5.0	68°4	69°3	70°5	70°4
Niemegk	Ni	52°2	96°5	-18°8	22.2	68°8	-10°9	22.6	65°8	65°8	66°2	66°4
Watheroo	Wa	-41°8	185°6	+1°3	16.2	-61°8	-1°6	16.4	-62°0			
Toolangui	To	-46°7	220°8	+9°5	13.9	-64°0	+7°7	14.0	-66°8			
Amberley	Am	-47°7	252°5	+15°1	11.8	-65°5	+16°7	11.7	-68°2			
Orcades	Or	-50°0	18°0	-7°2	3.4	-67°2	-3°7	3.2	-63°3			
Fort Conger	FC	86°7	169°3	-165°2	17.3	88°3	-77°5	23.1	88°0			
Kingua Fjord	Ki	78°1	3°2	-1°6	4.4	84°0	-19°3	3.3	83°1			
C. Thorsden	CT	74°5	131°7	-48°1	19.8	82°1	-24°6	21.4	82°1			
Godthaab	Gd	74°8	29°6	-13°0	2.6	82°3	-22°5	2.0	80°4			
Bossekop	Bo	66°6	120°4	-30°2	20.6	77°3	-15°4	21.7	77°4			
Little Karmakul	LK	64°5	142°7	-22°8	19.1	76°6	-6°3	20.2	78°2			
Sagastyr	Sa	62°2	189°5	+6°6	16.0	75°2	+6°1	16.0	79°0			
Gjøahavn	Gj	77°8	309°0	+25°8	8.0	83°8	+9°8	7.0	84°6			
Little America	LA	-74°6	312°1	+48°4	7.8	-82°1	+80°4	5.6	-82°0			
Cap Evans	Ev	-78°9	293°2	+58°8	9.1	-84°4	+103°8	6.0	-85°0			
Cap Denison	De	-75°6	235°9	+25°0	12.9	-82°7	+24°5	13.2	-86°4			
Port Martin	PM	-75°4	234°4	+24°1	13.1	-82°7	+21°7	13.3	-86°4			
Gaussland	Ga	-76°1	141°9	-17°6	19.1	-82°9	-48°6	21.0	-82°0			
Heard	He	-61°3	131°8	-15°0	19.8	-74°6	-27°5	20.6	-74°3			
Macquarie	Ma	-61°0	242°0	+19°0	12.5	-74°5	+19°5	12.5	-77°7			

part, de l'heure magnétique en altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum nocturne de la variation journalière de l'activité. Les courbes adoucies tracées au travers des points l'ont été à l'aide des groupes suivants de stations : Go, Sv, CB, Cd; FR, Sc, Be, PB*; MS, Di, An, JM, Ju; Tr, Co, Pe, Ai; So, Ka, Me; Si, Le, Do; Aj, Lo, Es; RS, Ch, Ab; Ni, VJ.

Thulé n'est pas inclus dans ces groupes parce qu'encore trop isolé en inclinaison ($I' = 87^\circ 0$); Yakutsk ($I' = 71^\circ 9$) est seulement porté sur la figure 11, sans avoir été utilisé dans les moyennes d'aucun groupe.

La comparaison des figures 10 et 12, relatives aux heures M_N , est assez significative. Nous constatons que la dispersion des points est considérablement réduite; cette amélioration n'est d'ailleurs réelle et importante que pour $I' > 74^\circ$. L'écart des points expérimentaux à la courbe moyenne est devenu de l'ordre de grandeur (0,5 h) de la précision qui sera définie ultérieurement (chap. IV, 1) comme étant celle avec laquelle sont obtenues les valeurs M_N .

La comparaison des figures 9 et 11, relatives aux amplitudes A , montre une amélioration réelle bien qu'apparemment moins nette. Cette amélioration porte sur trois points :

- 1 - les stations ayant les deux ondes d'activité N et J (cercles pleins de la figure) sont maintenant séparées en abscisses de celles qui n'ont que l'onde N ; ce fait est très significatif; car, s'il est important que le paramètre d'inclinaison puisse ordonner les stations du point de vue "intensité d'activité", il est non moins important qu'il les ordonne du point de vue "forme de la variation journalière";
- 2 - dans la partie rapidement croissante de la courbe, les écarts sont considérablement réduits et l'anomalie des stations de même inclinaison, ayant un rapport d'amplitudes d'une valeur atteignant 5, a disparu;
- 3 - Yakutsk est devenu beaucoup moins aberrant, et si l'amplitude A de cette station était diminuée de 5 gammas**, l'écart résiduel deviendrait du même ordre. Il restait de 20 gammas sur la figure 9.

Par ailleurs, nous constatons que Point Barrow reste aussi aberrant sur les deux figures. Est-il possible de rendre compte de cette anomalie? Les amplitudes respectives A de Point Barrow et de Fort Rae, ces deux stations étant assez comparables en inclinaison, sont de 72,7 et 181,8 pour la IIème A. P. I. et de 139,1 et 174,1 pour la Ière A. P. I. On voit que, dans ce dernier cas, l'écart entre les amplitudes est de l'ordre de grandeur des écarts résiduels qui existent sur la figure 11 vers 80° d'inclinaison. L'anomalie qui subsiste pour Point Barrow sur cette figure peut donc être imputée à une erreur expérimentale qui réduit systématiquement la grandeur des amplitudes; comme cette erreur peut être supposée constante, ceci n'empêche pas d'utiliser la suite des a_i de Point Barrow pour la détermination de M_N .

3.3.2. Champ à des altitudes inférieures à 5000 km. — Avant de comparer numériquement les différentes courbes des figures 9 à 12, nous pouvons essayer de voir ce qui se passe si on utilise des altitudes inférieures à 5000 km pour la définition de la forme du champ magnétique.

La figure 13 représente les amplitudes annuelles A_y de l'activité en fonction des inclinaisons à 1000 et 500 km avec les mêmes symboles que sur les figures 9 ou 11. Nous n'avons pas construit de courbes adoucies parce que nous pouvons constater que, d'une part, la séparation des stations ayant les deux ondes d'activité N et J des stations à onde N tend à disparaître et que, d'autre

* Comme dans le cas du champ géomagnétique, PB n'a pas été inclus dans ce groupe pour les amplitudes A .

** Cette correction, évaluée d'après les A_p mensuels, rendrait comparable la valeur de Yakutsk, déduite de seulement 6 mois d'enregistrements, aux autres observatoires de la IIème A. P. I.

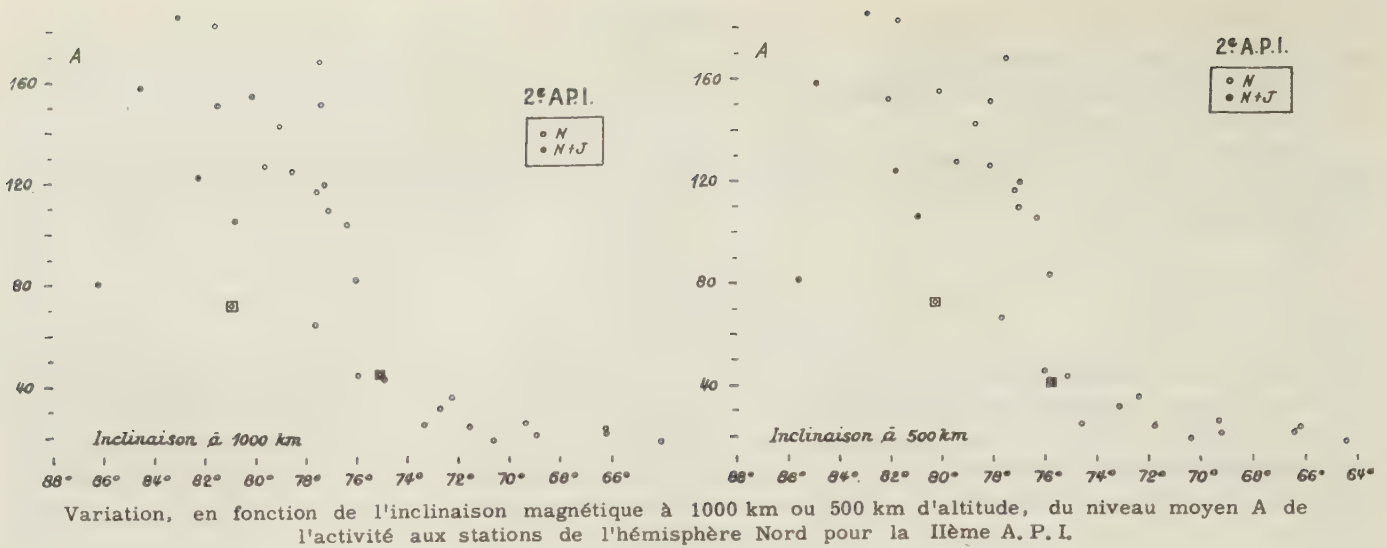


Figure 13

part, dans la région 76° à 78° d'inclinaison, les rapports d'amplitude entre stations de même inclinaison deviennent de nouveau très grands*.

Nous pouvons encore chercher si une altitude comprise entre 5000 km et 1000 km donne un résultat acceptable. Vestine n'ayant pas calculé les composantes du champ à 3000 km, nous avons essayé de faire une interpolation des valeurs de I' et ψ' .

Pour chaque observatoire, un graphique a été construit où étaient portées les valeurs de I' (ou de ψ') pour 500, 1000 et 5000 km. Des courbes d'interpolation étaient placées pour se diriger asymptotiquement vers l'ordonnée géomagnétique de I (ou de ψ). Les valeurs de I' et de ψ' ainsi obtenues pour 3000 km peuvent être considérées comme exactes respectivement à 3 ou 5 dixièmes de degré et à 1° ou 2° près. Dans le cas de ψ' , une erreur de 1° entraîne une variation de 0.1 heure sur la valeur de Γ' .

Les figures 14 et 15 ont été construites de manière analogue aux figures 9 et 10 et représentent, en fonction de l'inclinaison à 3000 km d'altitude, la variation de l'amplitude annuelle A_y et de l'heure magnétique en altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum nocturne de l'activité. Les courbes adoucies, tracées en travers des points, l'ont été à l'aide des groupes suivants : Go, CB, Sv, Cd; FR, PB, Di, Be, Sc; JM, MS, An, Ju; Tr, Pe, Ai, Co, Me; So, Ka, Si; Do, Le, Lo, Ag; Es, RS, Ch; VJ, Ab, Ni. Les mêmes remarques que pour les figures 11 et 12 peuvent être faites pour les stations non incluses dans ces groupes.

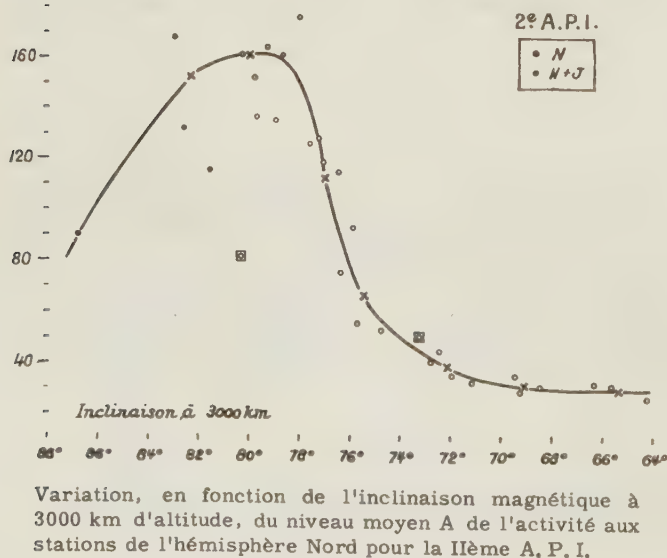


Figure 14

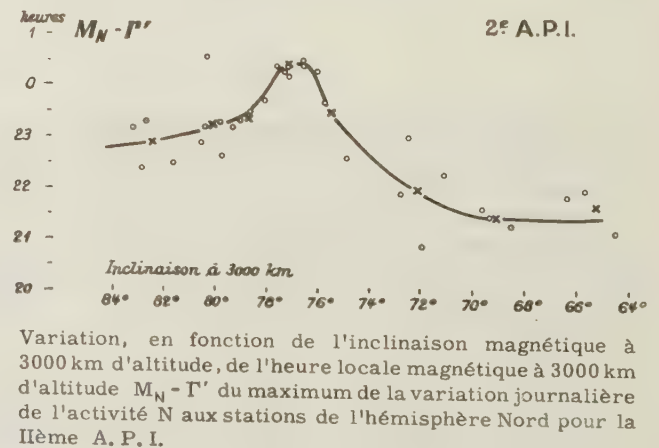


Figure 15

* Un travail analogue, fait pour 300 km d'altitude, donne un résultat encore plus mauvais.

Ces figures montrent que la manière dont les points expérimentaux se placent par rapport aux courbes reste acceptable.

3.3.3 - Comparaison numérique des différents résultats. — Nous pouvons maintenant essayer de faire une comparaison numérique de ces différents résultats. Dans ce but, nous avons calculé pour chaque station le rapport $\Delta A/A$ où ΔA est la différence entre l'amplitude observée et l'amplitude lue sur la courbe; puis nous avons fait les moyennes des $\Delta A/A$ de chaque groupe de stations*. De même, nous avons fait pour chaque station la différence entre la valeur de $M_N - \Gamma$ ou $M_N - \Gamma'$ observée et la valeur lue sur la courbe, et nous en avons déduit un $\Delta(M_N - \Gamma)$ ou $\Delta(M_N - \Gamma')$ moyen pour chaque groupe de stations.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus dans les différents cas. Sont indiqués en plus du Δ moyen, l'inclinaison moyenne I et le nombre n de stations de chaque groupe.

1 - Valeurs moyennes de $\Delta A/A$

Champ géomagnétique

I	81°9	80°0	77°1	75°5	73°5	71°1	68°1
n	5	4	5	6	2	4	3
Δ	0.15	0.15	0.18	0.43	0.14	0.15	0.08

Champ magnétique à 5000 km

I'	82°4	80°1	78°9	77°1	75°7	73°4	71°1	67°9	65°3
n	4	3	5	4	3	3	3	3	2
Δ	0.21	0.13	0.08	0.04	0.16	0.09	0.07	0.08	0.10

Champ magnétique à 3000 km

I'	82°4	80°1	78°7	77°0	75°5	72°1	69°1	65°4
n	4	4	4	5	3	4	3	3
Δ	0.23	0.11	0.10	0.13	0.22	0.09	0.10	0.08

2 - Valeurs moyennes de $\Delta(M_N - \Gamma)$ ou $\Delta(M_N - \Gamma')$

Champ géomagnétique

I	81°9	79°8	77°1	75°5	73°5	71°1	68°1
n	5	5	5	6	2	4	3
Δ	0.7	1.0	0.7	0.9	0.4	0.4	0.3

Champ magnétique à 5000 km

I'	82°4	80°2	78°9	77°1	75°7	73°4	71°1	67°9	65°3
n	4	4	5	4	3	3	3	3	2
Δ	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2	0.6	0.5	0.2	0.5

Champ magnétique à 3000 km

I'	82°4	80°1	78°7	77°0	75°5	72°1	69°1	65°4
n	4	5	4	5	3	4	3	3
Δ	0.4	0.5	0.1	0.2	0.2	0.6	0.1	0.4

* Ni Point Barrow, ni Yakutsk n'ont naturellement été inclus dans ces calculs.

Dans le cas des $\Delta(M_N - T)$ ou $\Delta(M_N - T')$, la supériorité du champ à 5000 km sur le champ géomagnétique est surtout sensible, comme nous l'avons remarqué sur les figures, pour $I' > 74^\circ$. Le champ à 3000 km donne un résultat à peu près équivalent.

Dans le cas des $\Delta A/A$, nous constatons que la supériorité du champ à 5000 km sur le champ géomagnétique n'est réelle que de $I' = 71^\circ$ à $I' = 79^\circ$ *. Le champ à 3000 km donne un résultat légèrement moins bon que le champ à 5000 km.

D'ailleurs, si après cette comparaison numérique nous revenons à la figure 11, il est évident que les écarts des points expérimentaux restent grands au-dessus de 78° d'inclinaison, encore qu'il ne faille pas oublier, en regardant cette figure, que ce sont les $\Delta A/A$ qui sont significatifs et non les ΔA . Ces écarts pourraient-ils être réduits, ou bien ont-ils une autre raison? Nous pouvons remarquer que les deux stations Sv et CB, assez proches l'une de l'autre (cf. carte de la fig. 5), ont des amplitudes respectives A de 105.7 et 185.8. Serait-il nécessaire d'invoquer, comme pour Point Barrow, une erreur expérimentale? Sans vouloir trancher la question, nous pensons que dans cette région du maximum de l'intensité de l'activité en fonction de la latitude, où par conséquent l'agitation magnétique est la plus forte, il est possible que des effets locaux d'induction perturbent les variations enregistrées. La comparaison des $\Delta A/A$ de cette région, qui sont de l'ordre de 0.20 à 0.15, avec ceux des stations de moyenne latitude où ils sont de l'ordre de 0.07 à 0.10, montre que les effets ne sont pas tellement plus puissants; il est seulement compréhensible qu'ils soient plus forts puisque l'agitation y est infiniment plus brutale. Rappelons que certaines amplitudes moyennes tri-horaires atteignent 300 gammas dans cette région alors qu'elles ne sont au maximum que de 30 gammas aux latitudes moyennes.

Pour résumer cette première comparaison entre les différentes expressions du champ magnétique terrestre, nous insisterons sur le fait que l'amélioration est surtout sensible pour des zones correspondant à des latitudes déjà relativement élevées, soit du fait de la séparation des différentes formes de variation journalière de l'activité, soit du fait de la dispersion moins grande des points expérimentaux. Ceci est d'autant plus remarquable que ce sont ces régions, et seulement celles-ci, où l'on peut supposer que les corpuscules extra-terrestres viennent impacter la terre.

Avant de préciser la signification de l'emploi du champ en altitude comme "paramètre magnétique" pour ordonner le phénomène de l'activité magnétique, nous proposerons quelques autres arguments en sa faveur, tirés soit d'autres documents magnétiques non homogènes aux précédents, soit de données aurorales.

3.4. - Autres arguments en faveur du champ à 5000 km d'altitude

3.4.1. - Données magnétiques. — Nous utiliserons des données d'amplitude annuelle A_y d'activité qui, en général, ne sont pas homogènes dans le temps aux précédentes. C'est la raison pour laquelle nous ne pouvons les porter directement sur les courbes d'amplitude des figures 9, 11 ou 14.

Tout d'abord, les amplitudes annuelles A_y d'activité de Heard et Macquarie pour 1952-1953 sont respectivement de 92.1 et 149.9. Or les inclinaisons géomagnétiques de ces stations sont respectivement de $74^\circ 6'$ et $74^\circ 5'$, alors que les inclinaisons à 5000 km sont de $74^\circ 3'$ et $77^\circ 7'$.

De même, les amplitudes annuelles A_y d'activité de Sodankylä et de Sagastyr pour la 1ère A.P.I. sont respectivement de 64.8 et 163.1. Or les inclinaisons géomagnétiques de ces stations

* On notera cependant que, si Yakutsk avait été inclus dans cette comparaison numérique, le $\Delta A/A$ moyen du groupe $68^\circ 1'$ géomagnétique aurait pratiquement été doublé, tandis que le $\Delta A/A$ moyen du groupe $71^\circ 1'$ à 5000 km ne serait que légèrement augmenté.

sont de $76^{\circ}2$ et $75^{\circ}2$, alors que les inclinaisons à 5000 km sont de $75^{\circ}8$ et $79^{\circ}0$. C'est donc le champ en altitude qui rend compte de la différence des amplitudes à ces deux groupes de stations, et non le champ géomagnétique.

D'autre part, à Port-Martin, la forme de la variation journalière pour 1951-1952 est significative de l'onde d'activité J pure. Pour la même année, qui a été étudiée à Godhavn et à Thulé, la forme de la variation journalière montre une superposition des types J et N à Godhavn et un type J pur à Thulé. Or les inclinaisons géomagnétiques de Port-Martin, Godhavn et Thulé sont respectivement de $-82^{\circ}7$, $+84^{\circ}9$ et $+89^{\circ}0$, alors que les inclinaisons à 5000 km sont de $-86^{\circ}4$, $+83^{\circ}0$ et $+87^{\circ}0$. Port-Martin étant, dans le second cas, d'une inclinaison presque égale à celle de Thulé, alors que Godhavn est d'une inclinaison nettement inférieure à celle des deux autres stations, le champ en altitude rend compte de la similitude des formes de la variation journalière à Port-Martin et Thulé et de la différence de celles-ci d'avec Godhavn; le champ géomagnétique ne l'explique pas.

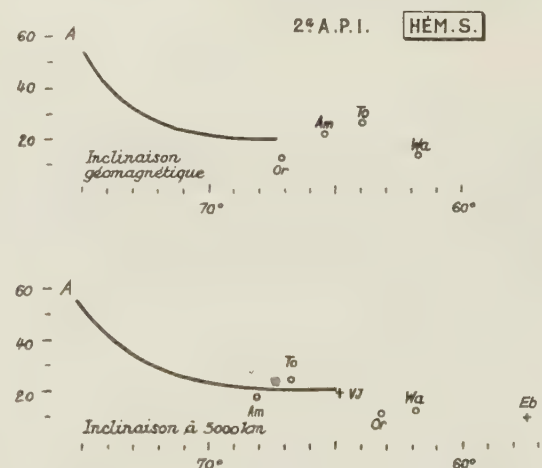
Une remarque analogue pourrait être faite à propos de Petite Amérique, Gauss Land et Port-Martin. Bien que les enregistrements de ces trois stations ne soient pas homogènes dans le temps, il est significatif de constater que la forme de la variation journalière à Petite Amérique et Gauss Land est du type de celle de stations comme Calm Bay ou Sveagruvan, présentant la superposition d'ondes qui apparaissent difficiles à séparer au premier abord, tandis que celle de Port-Martin est du seul type J. Or les inclinaisons géomagnétiques de ces trois stations antarctiques sont respectivement de $-82^{\circ}1$, $-82^{\circ}9$ et $-82^{\circ}7$, alors que les inclinaisons à 5000 km sont de $-82^{\circ}0$, $-82^{\circ}0$ et $-86^{\circ}4$. Seul, le champ en altitude rend compte de ces différences de forme de la variation journalière; par ailleurs, les inclinaisons en altitude de Petite Amérique et Gauss Land sont tout à fait du même ordre que celles de Calm Bay et Sveagruvan ($+81^{\circ}9$ et $+82^{\circ}3$).

Enfin, nous pouvons essayer de comparer les amplitudes annuelles A_y d'activité des quatre observatoires de l'hémisphère Sud, dont nous disposons pour la IIème A.P.I., à ceux de l'hémisphère Nord. Du fait de l'homogénéité dans le temps, nous devons pouvoir les porter sur les courbes des figures 9 et 11 représentant la variation de A_y en fonction de l'inclinaison.

Sur la figure 16, nous avons dessiné les éléments des courbes obtenues sur les figures 9 et 11, sans cependant les prolonger au-delà des dernières inclinaisons étudiées pour le Nord; les amplitudes des quatre observatoires Sud y sont portées pour comparaison (cercles).

Nous remarquons que les amplitudes de Toolangui (To) et des Orcades (Or) semblent spécialement aberrantes dans le cas du champ géomagnétique; elles le sont beaucoup moins dans le cas du champ en altitude. Dans ce dernier cas, Toolangui et Amberley (Am) se placent correctement sur la courbe de l'hémisphère Nord; d'autre part les Orcades se rapprochent de Watheroo (Wa) qui a une amplitude du même ordre. La supériorité du champ en altitude est ici encore confirmée.

Serait-il possible de prolonger la courbe obtenue pour l'hémisphère Nord vers les inclinaisons plus petites? Nous renoncerons à le faire parce que nous disposons de trop peu de stations. Cependant, en regardant la partie de la figure 16 qui correspond au champ à 5000 km, il peut sembler qu'il y ait une brusque décroissance de l'amplitude de l'activité pour $I < 65^{\circ}$. Or et Wa étant dans l'hémisphère Sud, nous avons cherché si la même décroissance existait dans le Nord. Pour cela, nous avons calculé le A_y de la station de l'Ebre pour la IIème A.P.I.; sa valeur est de 8,6, et est donc du même ordre de grandeur qu'aux Orcades et à Watheroo, mais nettement inférieure à l'amplitude A_y du Val Joyeux où elle est de 17,3. Ces deux valeurs sont figurées avec une croix sur la partie inférieure de la figure 16, avec les indicatifs respectifs de Eb et VJ.



Rattachement, aux courbes obtenues pour la variation en fonction de l'inclinaison du niveau moyen A dans l'hémisphère Nord, des 4 stations de l'hémisphère Sud de la IIème A.P.I.

Figure 16

Nous ne pouvons cependant répondre à la question posée; savoir s'il y a, ou non, une brusque décroissance de l'activité au-dessous de 65° d'inclinaison, puisque Eb est assez loin de VJ. En conséquence, nous avons utilisé un autre critère en calculant les amplitudes moyennes sur la composante horizontale pour 112 baies simultanées à l'Ebre et au Val Joyeux*, leurs valeurs respectives sont de 53 et 68 gammas, et leur rapport est de 0,78 alors que le rapport des A_y est de 0,50. La décroissance de l'activité semblerait donc être beaucoup plus faible sur les baies, prises isolément, que sur les moyennes d'amplitudes tri-horaires. On peut donc dans ces conditions se demander si la décroissance de l'activité est réellement aussi grande qu'elle semble l'être sur les amplitudes A.

Or il ne faut pas oublier que les amplitudes A, déduites des indices K, résultent de mesures où la variation journalière S_q a été éliminée. Cette variation S_q continue à croître en importance devant l'agitation quand on descend en latitude; de plus en période de minimum d'activité solaire (ce qui est le cas des amplitudes A_y ici étudiées), la mesure devient très délicate pour les indices 0,1 ou 2. Ceci explique peut-être la décroissance rapide que nous trouvons ici.

Quoiqu'il en soit, nous pensons avoir apporté ici quelques arguments supplémentaires en faveur du champ en altitude. Nous signalerons l'importance, à nos yeux, du résultat obtenu pour l'explication de la pureté de l'onde d'activité J à Port-Martin**.

3.4.2. - Données aurorales. — Les phénomènes auroraux sont intimement liés aux données d'activité magnétique. Il est donc normal de chercher si la substitution du champ en altitude au champ géomagnétique permet d'obtenir une meilleure corrélation entre les données aurorales et le champ magnétique.

Comme données aurorales, nous prendrons les isochasmes, courbes d'égale fréquence aurorale. Le paramètre magnétique qui leur est le plus immédiatement comparable est constitué par les isoclines, lignes d'égale inclinaison. Celles-ci peuvent être aisément obtenues, à partir des données de Vestine déjà mentionnées, en construisant des courbes donnant la valeur de I' le long des méridiens géographiques; sur ces courbes, on pourra lire la latitude géographique des points ayant une inclinaison donnée. C'est ainsi que les isoclines de 85° , 81° , 77° et 71° à 5000 km d'altitude ont été construites pour l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud. Les figures 17 et 18 en donnent la représentation graphique.

Pour l'hémisphère Nord, les isochasmes les plus complètes sont celles de Vestine (17). L'isochasme de fréquence 100% a été dessinée sur la figure 17, ainsi que le parallèle géomagnétique $\Phi = 65^\circ$ correspondant à l'isocline géomagnétique $I = 77^\circ$.

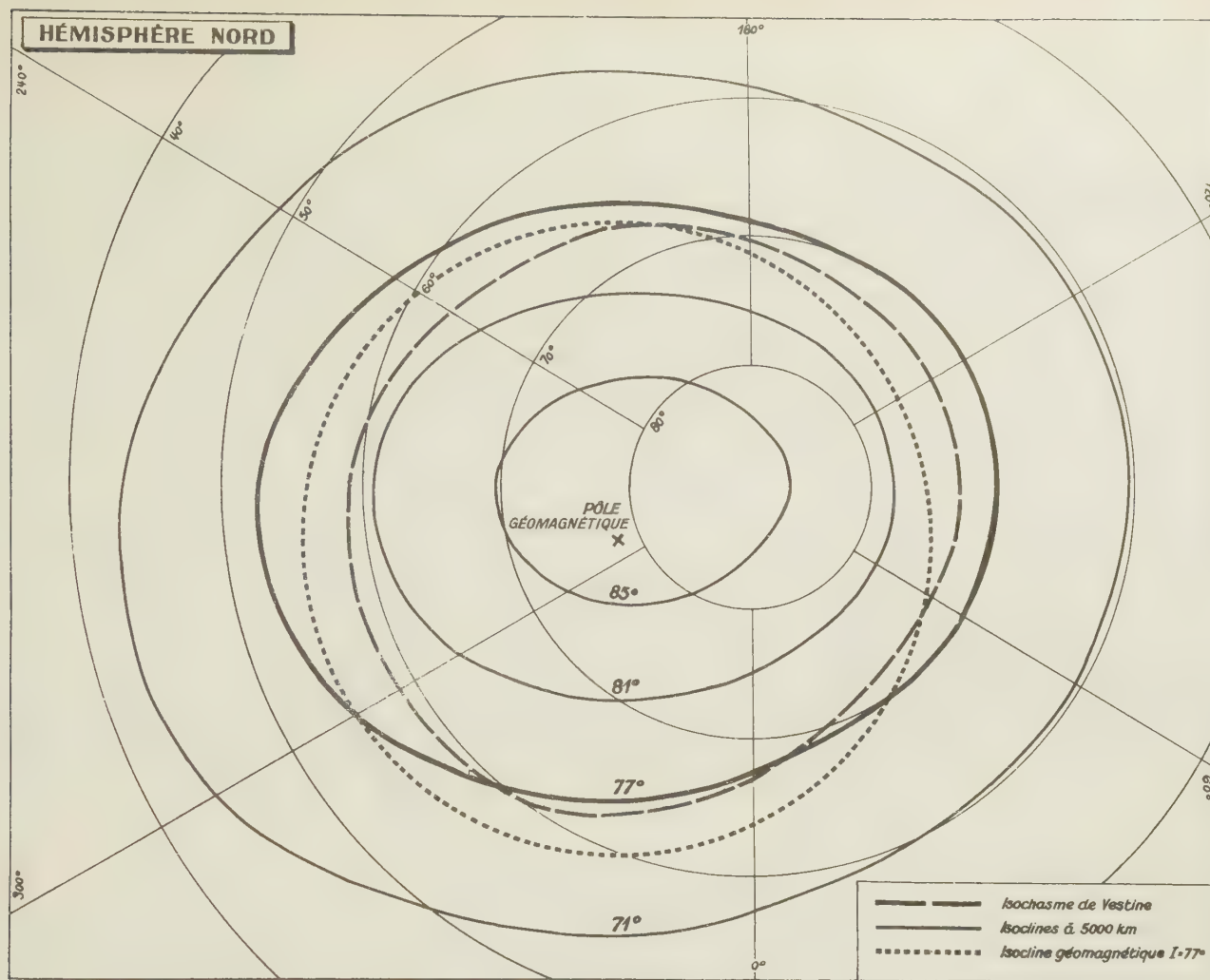
Les remarques suivantes peuvent être faites :

- 1 - l'orientation du grand axe de l'ovale figurant l'isochasme est assez semblable à celle du grand axe des ellipses approchées que sont les isoclines en altitude.
- 2 - dans la direction de ces grands axes, l'isochasme est décalée par rapport à l'isocline géomagnétique de 77° , dans le même sens que le pôle en altitude par rapport au pôle géomagnétique***.

* Ces valeurs nous ont été communiquées par Mr. P. Rougerie; elles correspondent à une période s'étendant de 1913 à 1933.

** A Cap Denison, station située à une centaine de km de Port-Martin et occupée en 1912-1913, un résultat identique peut être obtenu.

*** Il serait vain de faire une comparaison trop fine des isochasmes et des isoclines dans la mesure où les fréquences aurorales, corrigées par Vestine des effets dus aux inégalités de périodes d'observation entre stations (nébulosité et durée de la nuit), sont sujettes à un autre défaut



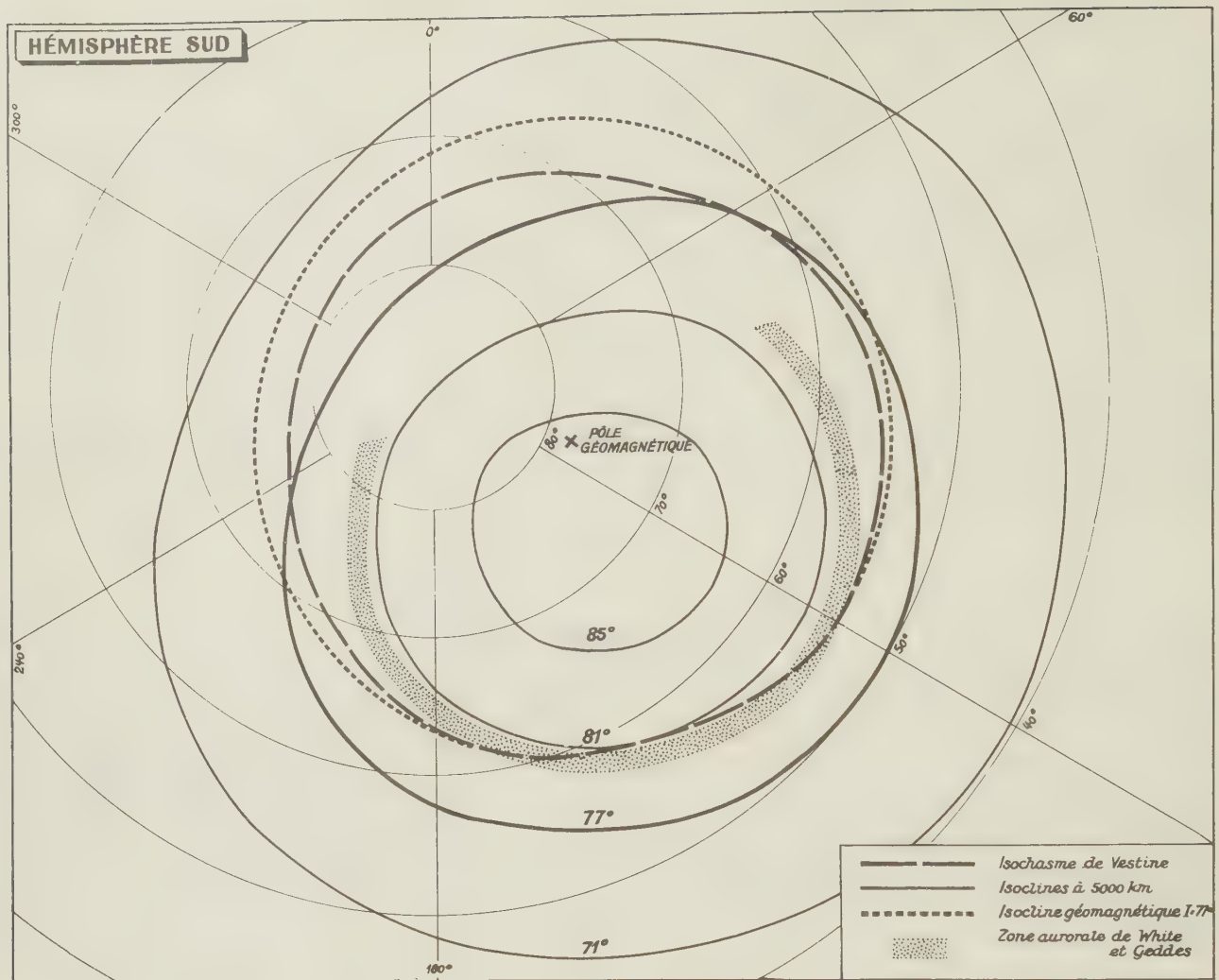
Comparaison des isoclines magnétiques à 5000 km d'altitude et de la courbe de fréquence aurorale maximum dans l'hémisphère Nord.

Figure 17

Pour l'hémisphère Sud il existe deux travaux relatifs aux données aurorales. Geddes et White (18) ont fait une première tentative de détermination de la zone de fréquence aurorale maximum. Vestine et Snyder (19) ont repris ce travail en appliquant la méthode que le premier avait utilisée pour l'hémisphère Nord, afin d'éliminer l'effet de nébulosité et de durée de la nuit; mais la forme et la position donnée à l'isochasme de fréquence aurorale maximum est déduite directement des amplitudes de la variation magnétique journalière S_D . Ces deux types d'isochasmes sont donnés dans la figure 18 avec les isoclines de 85°, 81°, 77°, 71° à 5000 km d'altitude et l'isocline géomagnétique de 77°.

auquel échappent en partie les enregistrements magnétiques. En effet, ces derniers sont sensibles non pas seulement aux phénomènes se produisant au zénith de la station, mais aussi à ceux se produisant sur tout le reste du globe. Il reste que l'effet enregistré est fonction de la distance. Les fréquences aurorales, elles, intègrent tous les phénomènes auroraux, qu'ils aient lieu au zénith ou sur l'horizon, avec le même poids : il y a là un défaut expérimental qui peut masquer la réalité du phénomène.

Notons en outre que, si on dessine les isoclines à 1000 km et 500 km d'altitude, on obtient des ellipses de plus en plus allongées; ceci montre que, comme pour les données magnétiques, la corrélation est moins bonne à 1000 km et 500 km qu'à 5000 km. Enfin, les isoclines du dipôle excentré ne donnent pas non plus une meilleure corrélation.



Comparaison des isoclines magnétiques à 5000 km d'altitude et de la courbe de fréquence aurorale maximum dans l'hémisphère Sud.

Figure 18

La courbe de Geddes et White épouse remarquablement la forme des isoclines. Celle de Vestine et Snyder est plus proche de l'isocline géomagnétique de 77° que de l'isocline correspondante en altitude. On remarquera cependant, étant donnée la rareté des données expérimentales magnétiques vers le 60°E, que le tracé de l'isochasme dans cette zone est, comme ses auteurs le précisent, spécialement incertain.

Nous pouvons donc dire, en conclusion de cette étude des données aurorales, que celles-ci sont mieux "ordonnées" par le champ en altitude que par le champ géomagnétique, au même titre que les données magnétiques. Un fait est particulièrement remarquable : plusieurs auteurs avaient déjà remarqué que la zone aurorale Nord était de forme ovale tandis que la zone aurorale Sud était plutôt circulaire; la même propriété existe pour les isoclines en altitude, et il est difficile de ne pas chercher à expliquer la première par la seconde.

3.5. - Conclusion: signification du champ en altitude

L'ensemble des résultats précédents va donc nous conduire, dans la suite de cette étude, à abandonner le champ géomagnétique pour définir la forme du champ magnétique extra-

terrestre et lui substituer le champ à 5000 km d'altitude. Ceci nous permettra sans doute d'améliorer les résultats obtenus par J. M. Stagg et A. P. Nikolsky, et, peut-être, de résoudre les divergences de leurs conclusions.

Il est nécessaire cependant de préciser la signification du champ en altitude; car nous devons, à son sujet, nous poser la même question qu'au premier paragraphe de ce chapitre, quand nous cherchions à définir la signification du paramètre magnétique dans le cas du champ "géomagnétique". Nous avons alors remarqué que le but de l'inclinaison géomagnétique n'était pas de définir l'inclinaison en un point quelconque de la verticale du lieu, mais d'individualiser un "tube de force" arrivant en ce lieu. Si l'inclinaison géomagnétique n'est pas capable de remplir ce rôle parce que le champ géomagnétique ne représente pas le champ réel, il semblerait, à strictement parler, que, seule, l'inclinaison réelle au sol pourrait remplir ce rôle et, en tout cas, en aucune manière une quantité relative à un point situé sur la verticale du lieu à 5000 km, où les corpuscules arrivant en ce lieu ne passent certainement pas. Selon l'hypothèse déjà faite que les corpuscules épousent la forme des lignes de force dans la dernière partie de leur trajet soleil-terre, nous devons alors remarquer que ceux qui arrivent en un lieu donné traversent l'altitude de 5000 km à une certaine distance de la verticale de ce lieu; ainsi, pour une arrivée sur la zone aurorale (77° d'inclinaison par exemple), cette distance est de l'ordre de 2000 km, ce qui correspond à une différence de latitude d'environ 9 degrés. En conséquence, le tube de force qui arrive sur la zone aurorale a traversé l'altitude de 5000 km sur une isocline d'environ 4 à 5 degrés inférieure à l'isocline qui est à la verticale du lieu à cette même altitude. Or, ainsi que le montrent les figures 17 et 18, les isoclines sont des courbes grossièrement parallèles et, par conséquent, elles nous renseignent suffisamment sur la forme générale du champ; ceci tant en valeur d'inclinaison (I) qu'en valeur de déclinaison (ψ) ou heure magnétique**. De ce point de vue, les données magnétiques à 5000 km d'altitude sur la verticale du lieu permettent d'individualiser un tube de force qui traverse la même altitude sur une isocline inférieure.

Si ces remarques précisent la signification du champ en altitude, il reste à expliquer pourquoi cette altitude de 5000 km donne de meilleurs résultats que d'autres? On comprendrait sans difficulté par exemple, que l'individualisation des tubes de force ait pu se faire par le champ à 100 ou 200 km d'altitude (niveau auroral); de telles données magnétiques auraient défini les points d'arrivée des différents tubes de force à cette altitude. Pourquoi n'en est-il pas ainsi et obtenons-nous une altitude limite supérieure à 200 km? Pour essayer de donner une réponse à cette question, il faut considérer que les seules données expérimentales directes sont les valeurs du champ mesurées au sol, et pour atteindre les valeurs du champ en altitude, il a été nécessaire de passer par l'intermédiaire de l'analyse sphérique harmonique. Or les valeurs mesurées au sol correspondent à un champ qui est la résultante de causes intérieures à la surface de la terre, depuis celles, profondes et relativement homogènes, qui donnent au champ sa forme générale jusqu'à celles, plus ou moins voisines de la surface et très nombreuses, qui provoquent les anomalies régionales ou locales; l'influence des premières décroît moins vite avec l'altitude que celles des secondes, et la forme générale du champ en altitude dépend donc beaucoup plus des premières que des secondes. Or l'analyse sphérique harmonique, basée sur les valeurs expérimentales au sol et nécessairement limitée quant à son nombre de termes successifs, ne peut prétendre à représenter exactement le champ réel. Si, à de très grandes distances, on peut penser à juste titre qu'elle représente bien la réalité, il reste qu'au sol, des écarts importants existent entre les valeurs réelles et les valeurs

* Nous choisirons le champ à 5000 km plutôt que celui à 3000 km parce que les valeurs obtenues pour ce dernier proviennent d'une double interpolation et que nous les considérons comme moins sûres. D'autre part, alors que la variation séculaire du champ géomagnétique semble inexistante, elle a certainement une influence sur le champ en altitude. Le calcul de ce champ, fait par Vestine pour 1945, peut être supposé valable pour la II^{ème} A. P. I. (1932-1933) et à fortiori pour les années d'observation comprises entre 1940 et 1953. Mais il n'est sans doute pas valable pour les observatoires antarctiques étudiés pour 1902-1903 ou 1911-1913, ainsi que pour les stations arctiques de la I^{ère} A. P. I. (1882-1883) et Gjoähavn (1903-1905). Des corrections estimées d'après la variation du pôle de surface seraient cependant trop imprécises; on peut seulement penser qu'elles seraient en général inférieures à 1° pour l'inclinaison.

** Les isoclines renseignent en effet également sur la forme générale des lignes de force, et donc sur ψ , puisque les lignes de force sont en quelque sorte les courbes "normales" aux isoclines.

calculées; ce n'est que peu à peu, lorsqu'on monte en altitude, que, les causes voisines de la surface de la terre perdant de leur importance, la forme générale du champ se simplifie et devient de plus en plus capable d'être représentée mathématiquement de manière exacte. En ce sens, une altitude supérieure à 2000 km représenterait celle où l'analyse donnerait une bonne approximation du champ réel. Peut-être serait-il également nécessaire de tenir compte du fait que les corpuscules, dans la toute dernière partie de leur trajectoire (les 1000 à 2000 derniers kilomètres), suivent mal les déformations (ou anomalies) rapidement croissantes du champ.

Chapitre IV

PHASE DE L'ACTIVITÉ DE N

Pour définir un paramètre magnétique, nous avons déjà utilisé certaines données d'activité, en particulier l'heure du maximum de la variation journalière de l'activité. Une telle donnée, que nous avons notée $M_N - \Gamma'$, ne représente qu'un aspect de l'étude de la phase de l'activité N. En effet, nous pouvons chercher s'il existe une variation saisonnière de M_N ; d'autre part, n'ayant utilisé au chapitre précédent que les documents Nord de la IIème A.P.I., nous devons essayer de rattacher les autres documents à cet ensemble. Nous étudierons également l'heure m du minimum de la variation journalière; bien que sa mesure soit moins sûre que celle de M_N - en effet, le minimum étant moins accusé que le maximum, la pente de la courbe formée par la suite des différences premières des a_i est plus faible et la détermination du passage au zéro moins précise -, cette donnée nous fournira des éléments qui nous serviront ultérieurement. Enfin, il sera utile de vérifier, à partir des séries d'années dont nous disposons pour certains observatoires, si un M_N déduit d'une seule année ou saison d'observation est significatif. Nous commencerons par ce dernier point.

4.1. - Précision sur la mesure de M_N .

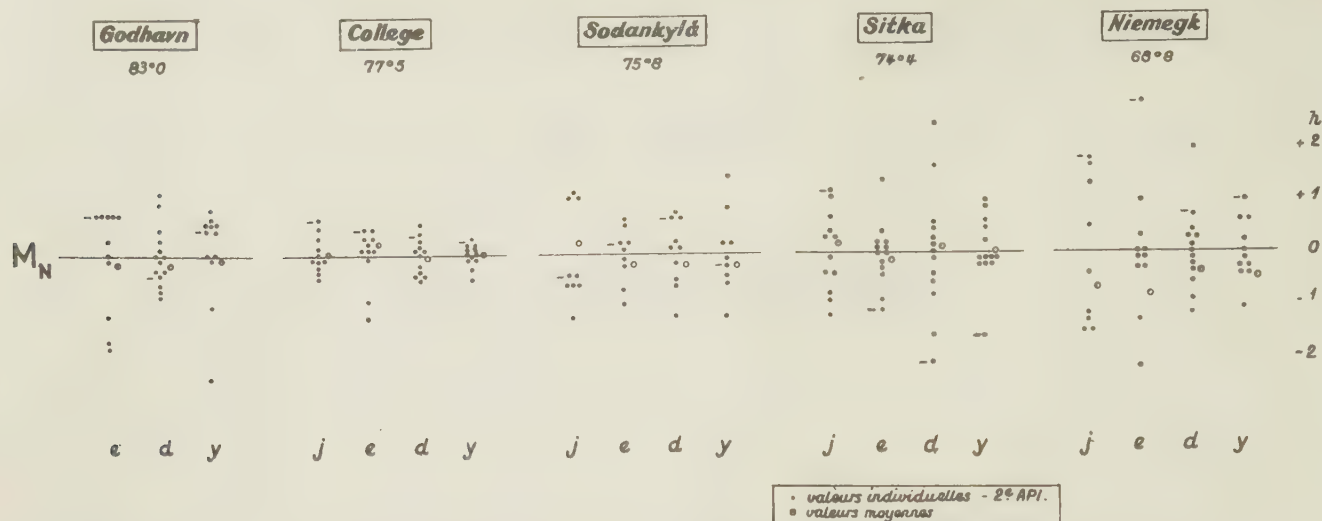
Sur les six observatoires pour lesquels nous étudions une longue série d'années, cinq ont un maximum du type N. Leurs inclinaisons I' à 5000 km et les nombres n d'années étudiées en chacun d'eux sont :

Godhavn	83°0	14
College	77°5	11
Sodankylä	75°8	9
Sitka	74°4	13
Niemegk	68°8	11

La position du premier de ces observatoires est nettement intérieure à la zone aurorale et il possède, en plus de l'activité N, une onde d'activité J intense. Les 3 suivants se situent sur la partie rapidement décroissante de la courbe des amplitudes A de la figure 11. On notera combien il aurait été utile, dans cette étude des régions polaires, de pouvoir disposer d'une longue série d'années vers 79° ou 80° d'inclinaison; malheureusement, un tel observatoire permanent n'existe pas. Enfin le dernier, Niemegk, est aux latitudes moyennes.

La figure 19 donne pour les 3 saisons d , e , j et l'année y , la dispersion, par rapport à leur moyenne, des valeurs saisonnières et annuelles des M_N tels qu'ils ont été mesurés sur les différences premières des suites de a_i pour chaque saison de 4 mois (chaque a_i , moyenne de 120 nombres) ou chaque année de 12 mois (chaque a_i , moyenne de 365 nombres). Dans le cas de Godhavn, les valeurs de j ne sont pas données parce que, dans presque tous les cas, l'activité N était presque complètement absorbée par l'onde d'activité J; dans le cas de Niemegk, il était impossible pour

3 valeurs d'été de déterminer une valeur de M_N à cause de l'irrégularité de la suite des a_i *. Ces valeurs "individuelles" saisonnières et annuelles sont figurées par les points sur la figure; un tiret permet de repérer la valeur de la IIème A. P. I.



Dispersion obtenue dans les mesures de l'heure M_N du maximum de la variation journalière des amplitudes tri-horaires moyennes saisonnières ou annuelles en 5 stations.

Figure 19

On pouvait obtenir une valeur peut-être plus précise de M_N en faisant la moyenne des a_i individuels de chaque série de saisons ou d'années et en mesurant M_N sur les différences premières de la suite de ces a_i moyens. Les valeurs de M_N , ainsi obtenues, sont représentées sur la figure 19 par un cercle.

Dans l'ordre d'inclinaison décroissante, les écarts moyens des valeurs individuelles sont respectivement pour l'année : ± 0.7 , ± 0.2 , ± 0.6 , ± 0.5 , ± 0.5 h. Nous remarquerons donc que, numériquement, la dispersion est la plus faible à College; de ces cinq stations, elle est celle qui est le plus près de la zone aurorale, sinon sur celle-ci ($I' = 77^\circ 5$). L'aspect général de la figure 19, tant pour les valeurs saisonnières que pour les valeurs mensuelles, montre bien que les points, formant un ensemble relativement compact à College, tendent à avoir une dispersion de plus en plus grande quand on descend vers les inclinaisons inférieures. Ce résultat semble significatif dans la mesure où on peut supposer qu'il vient du fait suivant : en moyenne, les corpuscules responsables de l'activité arrivent surtout sur la zone de fréquence aurorale maximum; c'est donc là que l'orientation des lignes de force du champ magnétique dans l'espace est spécialement importante pour déterminer l'heure du maximum de l'activité; mais, en moyenne, de part et d'autre de cette zone, l'activité est un phénomène secondaire correspondant à un écoulement des courants provoqués par le phénomène primaire de l'arrivée des corpuscules; il est donc normal que, lorsqu'on s'éloigne de cette zone, l'heure du maximum d'activité ait tendance à se disperser autour d'une valeur moyenne.

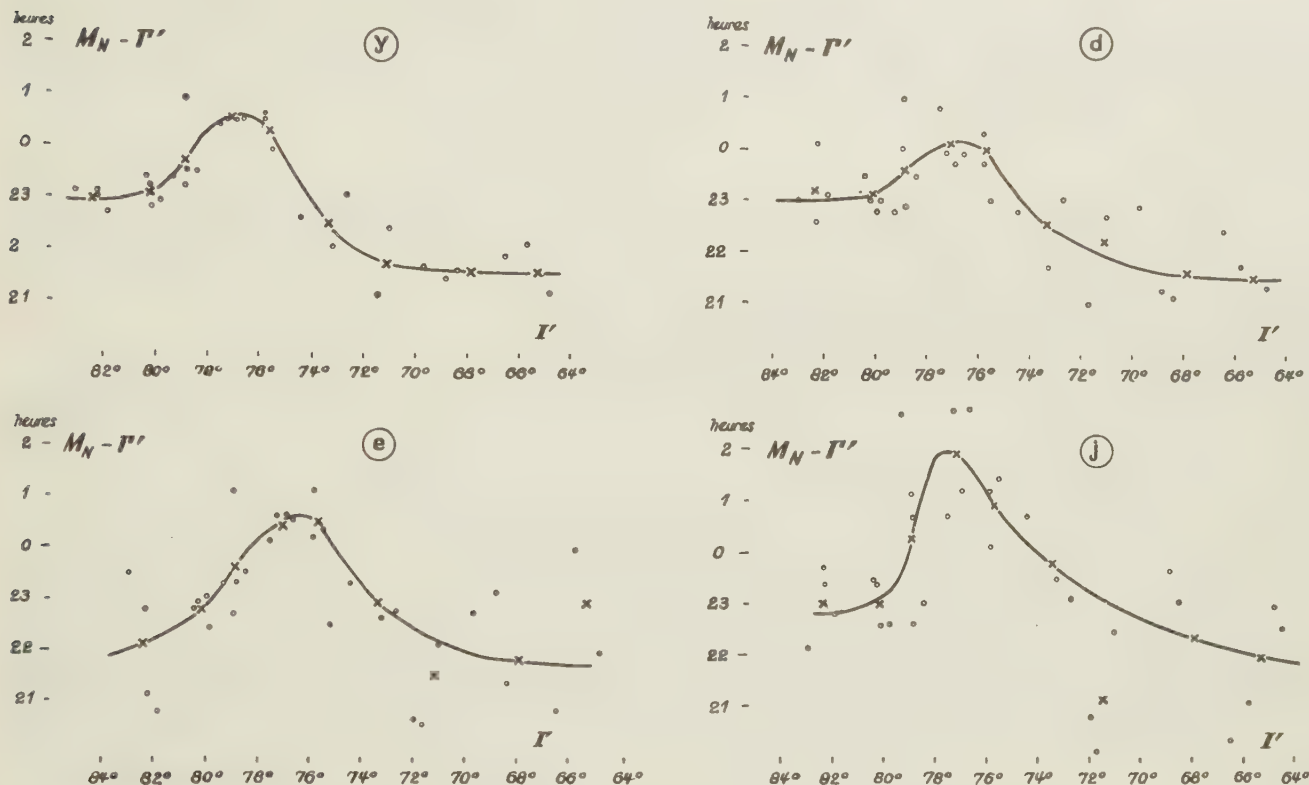
Quoi qu'il en soit de cette interprétation, nous pouvons conclure de cette étude que, d'une part, la précision que nous pouvons nous attendre à avoir sur M_N est de l'ordre de la demi-heure, et que, d'autre part, cette précision est meilleure vers 77° - 78° d'inclinaison qu'ailleurs.

4.2. - Valeurs annuelles et saisonnières de $M_N - I'$

Nous traiterons d'abord les documents Nord de la IIème A. P. I., puis nous leur comparerons les autres documents.

* Cette anomalie sera expliquée au chapitre V.2. p.63, note 2.

4.2.1. - Documents Nord de la II^{ème} A.P.I. — La figure 20 donne les courbes de variation, en fonction de l'inclinaison I' , de l'heure magnétique en altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum de la variation journalière de l'activité pour l'année y et les 3 saisons j, e, d . La courbe correspondant aux valeurs annuelles n'est qu'une reproduction de la figure 12 et nous ne la redonnons ici qu'à titre de comparaison; les courbes correspondant aux valeurs saisonnières ont été adoucies par le même procédé que la courbe correspondant aux valeurs annuelles, et on peut remarquer qu'elles passent parfois relativement loin des croix représentant les moyennes des groupes de stations. La dispersion des points est beaucoup plus grande pour les saisons que pour l'année, ce qui n'est pas étonnant puisque les a_j sont dans un cas les moyennes de 120 nombres seulement, dans l'autre de 365.

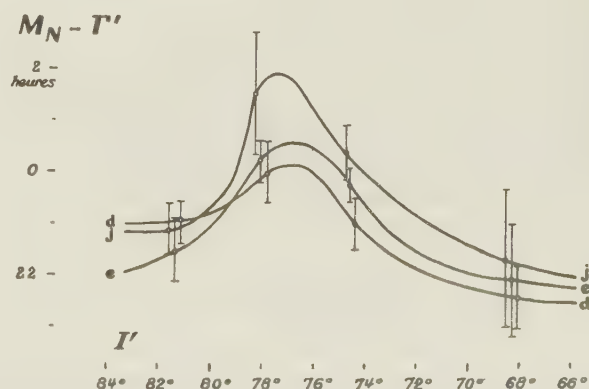


Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de l'heure locale magnétique à 5000 km d'altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum de la variation journalière de l'activité N pour l'année et les trois saisons aux stations de l'hémisphère Nord de la II^{ème} A. P. I.

Figure 20

Ya-t-il effectivement une variation saisonnière dans le déplacement de l'heure $M_N - \Gamma'$ en fonction de l'inclinaison? Par la figure 21, nous essayons de répondre à cette question; cette figure représente la superposition des 3 courbes saisonnières adoucies. La longueur des barres, centrées sur chaque courbe en 4 zones différentes, donne une idée de la dispersion des points dans ces zones; on voit ainsi que cette variation saisonnière faible ne serait sans doute significative qu'entre 72° et 78° d'inclinaison.

Cette variation saisonnière est-elle confirmée par l'étude des saisons à College,



Comparaison des variations, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de l'heure locale magnétique à 5000 km d'altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum de la variation journalière de l'activité N pour les trois saisons aux stations de l'hémisphère Nord de la II^{ème} A. P. I.

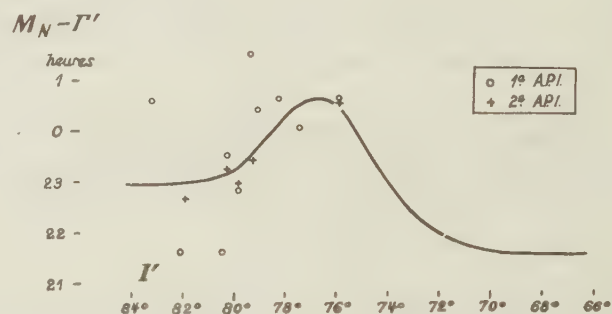
Figure 21

Sodankylä et Sitka, stations comprises entre 78° et 72° d'inclinaison ? Le tableau ci-dessous donne les valeurs de $M_N - \Gamma'$ à ces 3 stations, selon la mesure faite sur les différences premières des suites de a_i moyens des séries de saisons :

	d	e	j
College	21.3 h	23.9 h	24.0 h
Sodankylä	23.4 h	23.9 h	24.4 h
Sitka	25.2 h	24.4 h	23.7 h

Le sens de la variation saisonnière, c'est-à-dire un retard de la phase de l'hiver à l'été, est donc confirmé à Sodankylä, mais est peu net à College et inversé à Sitka. Ceci montre donc que le résultat obtenu dans la figure 21 ne peut pas être considéré comme certain, et nous conclurons que, à supposer qu'une variation saisonnière existe, elle est sans doute faible, et que nos données ne sont pas capables de la faire apparaître.

4.2.2. - Autres documents. — La figure 22 reproduit la courbe (correspondant aux valeurs annuelles) adoucie de la variation de $M_N - \Gamma'$ obtenue pour la IIème A.P.I. et montre en regard les valeurs de $M_N - \Gamma'$ obtenues pour la Ière A.P.I. (valeurs figurées par des cercles). Comme certains des observatoires de la Ière A.P.I. ont été réoccupés pendant la IIème A.P.I., nous avons porté sur cette figure les valeurs obtenues en ces mêmes observatoires pour la IIème A.P.I. (valeurs figurées par des croix). Si on se rappelle que les M_N de la Ière A.P.I. sont déduits d'amplitudes a_i ne correspondant chacune qu'à 24 nombres (les 24 jours internationaux), et que, par conséquent, la mesure en est moins précise que celle des M_N de la IIème A.P.I. déduits d'amplitudes a_i correspondant chacune à 365 nombres (l'année complète), on peut considérer que la tendance de $M_N - \Gamma'$ à se produire plus tard dans la soirée vers 76° à 78° d'inclinaison qu'au dessus de 78° d'inclinaison est confirmée.



Comparaison entre les heures locales magnétiques à 5000 km d'altitude $M_N - \Gamma'$ du maximum de la variation journalière de l'activité aux stations de la Ière A.P.I. et les valeurs analogues obtenues aux stations communes de la IIème A.P.I. ou la courbe représentant la variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de cette même quantité.

Que nous apportent, à ce point de vue de l'heure du maximum de l'activité N , les observatoires de l'hémisphère Sud ? Les valeurs annuelles de $M_N - \Gamma'$ à Watheroo, aux Orcades, à Toolangui et à Amberley sont respectivement de 22.5 h, 20.9 h, 23.2 h et 21.6 h. La courbe adoucie construite pour les observatoires Nord passant uniformément vers 21.5 h dans la région d'inclinaison correspondante, l'accord entre le Sud et le Nord semble satisfaisant.

Sur la zone aurorale Sud, nous ne disposons que de deux stations, Heard et Macquarie. Les valeurs annuelles de $M_N - \Gamma'$ pour 1952-1953 y sont de 1.0 h et 23.8 h. Il y a donc bien, dans le Sud comme dans le Nord, un retard de la phase de l'activité N par rapport aux latitudes moyennes, quand on arrive sur la zone aurorale.

4.3 - Valeurs annuelles de $m - \Gamma'$

Il nous reste dans cette étude de la phase de l'activité N à considérer la variation, en fonction de l'inclinaison, de l'heure magnétique en altitude $m - \Gamma'$ du minimum de la variation journalière de l'activité. Nous ne le ferons que pour l'année; une étude des saisons conduirait à une conclusion analogue à celle obtenue pour le maximum.

Une remarque préliminaire doit cependant être faite puisque nous utiliserons des stations situées vers 82° - 83° d'inclinaison et présentant par conséquent, sur les courbes annuelles de

Figure 22

variation journalière, la superposition des deux ondes d'activité N et J. A ces stations, il y a donc deux minima, comme il y a deux maxima; c'est le minimum précédant le maximum nocturne que nous y avons utilisé; aussi, sur la figure 23, qui représente la variation de $m-\Gamma'$ pour les stations Nord de la IIème A.P.I., et où la courbe adoucie a été construite suivant le procédé habituel, les points expérimentaux correspondant à ces stations sont figurés par un cercle plein. La présence des deux minima vers 82° d'inclinaison explique la brusque montée de la courbe pour cette valeur d'inclinaison; mais il est intéressant de constater que, malgré l'existence d'un minimum unique en-dessous de 81° d'inclinaison, il n'y a pas de discontinuité entre les deux extrémités de la courbe, puisque nous voyons, entre 76° et 80° , les points expérimentaux se déplacer nettement vers des heures plus tardives. Nous verrons, au chapitre suivant, l'intérêt que présente cette propriété relativement à l'activité J.

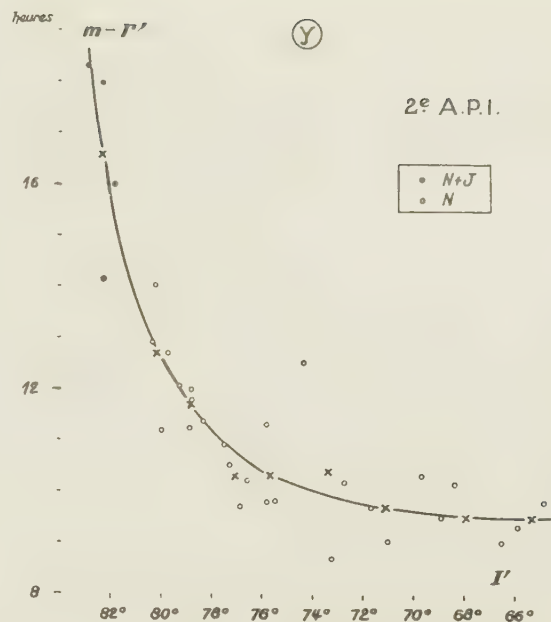
Les documents de la Ière A.P.I. confirment ce résultat. La figure 24 représente (de manière analogue à la figure 22) la courbe adoucie obtenue dans la figure 23 pour la IIème A.P.I.; les cercles représentent les valeurs expérimentales de $m-\Gamma'$ pour la Ière A.P.I., et les croix, les valeurs expérimentales de $m-\Gamma'$ pour la IIème A.P.I. aux stations communes aux deux années. On voit bien, ici encore, comment entre 76° et 80° les points expérimentaux ont tendance à se déplacer rapidement vers des heures plus tardives.

4.4. - Conclusion

Pour terminer cette étude de la phase de l'activité N, nous ferons quelques remarques sur la forme de la courbe obtenue pour la variation annuelle de $M_N - \Gamma'$ (figure 20).

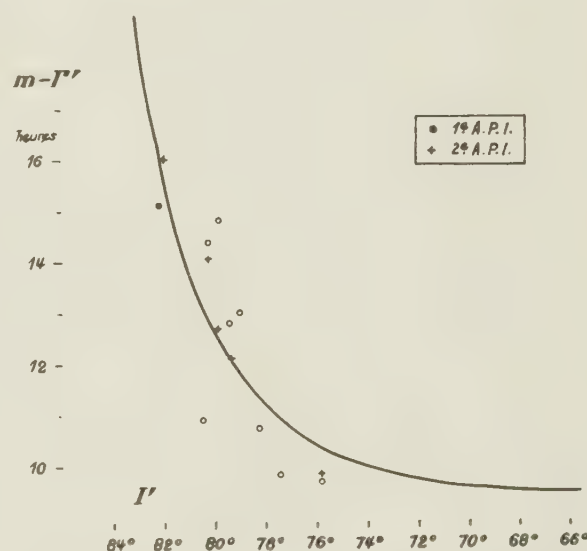
On se rappelle que J. M. Stagg avait seulement parlé d'un retard linéaire de l'heure géographique du maximum quand on montait des latitudes moyennes vers la zone aurorale, que A. P. Nikolsky avait confirmé l'existence de ce retard et avait montré, de plus, l'existence d'un phénomène inverse quand on continuait à progresser vers l'intérieur de la zone aurorale; cependant, l'utilisation de l'heure géomagnétique ne lui avait permis que des conclusions qualitatives, à cause de la trop grande dispersion des points.

Nous retrouvons bien ici les mêmes résultats. Mais l'utilisation de documents plus homogènes et d'un paramètre magnétique meilleur permet de montrer qu'à l'extérieur de la zone aurorale,



Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de l'heure locale magnétique à 5000 km d'altitude $m-\Gamma'$ du minimum de la variation journalière de l'activité aux stations de l'hémisphère Nord de la IIème A.P.I.

Figure 23



Comparaison entre les heures locales magnétiques à 5000 km d'altitude $m-\Gamma'$ du minimum de la variation journalière de l'activité aux stations de la Ière A.P.I. et les valeurs analogues obtenues aux stations communes de la IIème A.P.I. ou la courbe représentant la variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de cette même quantité.

Figure 24

ce retard n'intervient qu'à partir de 72° d'inclinaison (latitude magnétique équivalente *: 57°) et atteint rapidement son maximum vers 77° (latitude équivalente : 65°). Puis la variation de phase change de sens pour venir rapidement se stabiliser vers 81° d'inclinaison (latitude équivalente : 72°).

Deux remarques semblent importantes : le maximum du retard de la phase est centré dans la région du maximum de fréquence aurorale; d'autre part, la dispersion des points expérimentaux est considérablement plus grande à l'extérieur de la zone aurorale.

* Nous entendons ici, et dans le reste de cette étude, les mots "latitude magnétique équivalente" en un sens large. Il est bien entendu en effet que la formule $\text{tg } I = 2 \text{ tg } \Phi$ qui permet de passer de l'inclinaison à la latitude, n'est valable que dans le cas d'un doublet et, par conséquent, du champ géomagnétique seul. Nous ne donnons cette "latitude magnétique équivalente" qu'afin de faciliter une comparaison avec les valeurs géomagnétiques classiques.

Chapitre V

PHASE DE L'ACTIVITÉ J ET AIRE D'EXPANSION DE CETTE ACTIVITÉ

Dans l'Introduction, nous avons défini morphologiquement la différence entre les activités N et J ; puis, à la fin du chapitre II, nous avons vu comment cette activité J apparaissait de manière très nette seulement sur les courbes de variation journalière de stations de très haute latitude (cf. fig. 7). Abordant ici l'étude de la phase de l'activité J, il est difficile de la séparer de l'étude de l'aire d'expansion de cette activité. En effet, jusqu'à maintenant, nous nous sommes refusés à considérer l'existence de cette activité en dehors de l'intérieur de la zone aurorale où elle apparaît avec une telle intensité qu'elle peut être identifiée aisément, sur les courbes annuelles de variation journalière de l'activité, par l'existence d'un maximum diurne dont l'intensité croît de l'hiver à l'été; de ce point de vue, son aire d'expansion semblait limitée dans le Nord par l'isocline de 81° , comme on peut le voir sur la figure 11, limite qui est confirmée dans le Sud par l'existence de cette activité aux 5 stations étudiées à l'intérieur de la même isocline. Cependant, alors que J. M. Stagg n'avait pas reconnu l'existence de cette activité au-delà de cette zone, le fait que A. P. Nikolsky ait montré qu'elle agissait encore vers 62° de latitude géomagnétique (inclinaison équivalente : 75°), nous incite à étudier soigneusement tous les indices nous permettant de résoudre cette divergence. Par ailleurs, ce dernier auteur était amené au résultat paradoxal d'un contrôle de cette activité par le temps universel et non par le temps local, une dissymétrie existant entre ce qu'il appelait hémisphères oriental et occidental; ceci doit nous conduire à une grande prudence dans l'examen des critères permettant de définir l'existence de cette activité en dehors de l'isocline de 81° Nord ou Sud. En effet, il est certain que, si elle y agit, ce sera avec une intensité beaucoup plus faible.

Pratiquement, le seul critère valable est de déceler l'existence, sur les courbes de variation journalière, d'un autre maximum que celui de l'activité N prépondérante, maximum dont la variation saisonnière en intensité devra être croissante de l'hiver à l'été, au même titre que celle du maximum de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale; un tel maximum n'existant pas, nous l'avons dit, sur les courbes annuelles, nous devons examiner avec soin les courbes saisonnières de variation journalière pour voir si, en été, un maximum secondaire n'apparaît pas. Notons que la propriété du maximum de l'activité J d'être diurne à l'intérieur de la zone aurorale n'est pas nécessairement significative dans les autres régions, puisque, selon A. P. Nikolsky, nous savons que cette heure varie de manière importante. Enfin, nous avons passé sous silence, dans l'étude de la phase de l'activité N, les données d'activité déduites des jours calmes et des jours perturbés, parce qu'elles ne nous auraient rien apporté; mais nous verrons qu'elles nous seront précieuses ici. De même, la forme de la courbe de variation des $m - \Gamma'$ en fonction de l'inclinaison (cf. IV. 3) nous donnera des éléments intéressants.

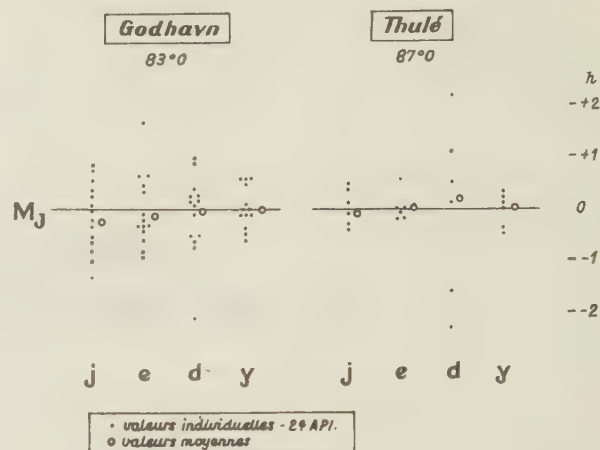
Nous commencerons donc par étudier la phase de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale; puis, selon les idées exposées ci-dessus, nous chercherons à reconnaître l'existence de cette activité au-delà de cette région en déterminant simultanément la variation de sa phase.

5.1. . L'intérieur des isoclines de 81° des deux hémisphères Nord et Sud

Tout d'abord, d'une manière analogue à celle que nous avons utilisée pour l'activité N, nous pouvons chercher à estimer la précision de la mesure, sur les suites des différences premières des a_j , du maximum M_j . Pour cela, nous disposons de 6 années d'observations à Thulé (du type J pur) et de 14 années à Godhavn (du type N + J).

La figure 25 montre, de manière analogue à la figure 19, la dispersion, par rapport à leur moyenne, des valeurs saisonnières et annuelles des M_j tels qu'ils résultent des mesures pour chaque saison ou année; ces valeurs sont figurées par des points. D'autre part les cercles situent la valeur de M_j correspondant à des mesures faites à partir des a_j moyens de chaque série de saisons ou d'années.

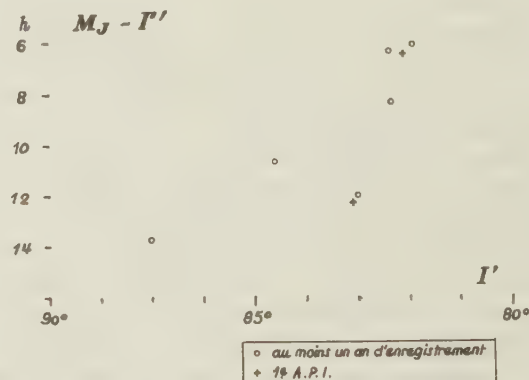
On notera la très grande dispersion pour l'hiver (d) à Thulé; elle vient du fait qu'en cette saison, le maximum est très peu marqué sur la courbe de variation journalière. On peut cependant conclure de cette figure que la valeur de M_j est bien déterminée au même titre que celle de M_N .



Dispersion obtenue dans les mesures de l'heure M_j du maximum de la variation journalière des amplitudes tri-horaires saisonnières ou annuelles en 2 stations.

Figure 25

Nous pouvons maintenant en venir à l'étude de la variation de $M_j - I'$ en fonction de l'inclinaison. Sur la figure 26, ont été portées, en fonction des inclinaisons en altitude, les heures $M_j - I'$ des 8 stations* de l'hémisphère Nord dont nous disposons. Six d'entre elles (Thulé, Godhavn, Chesterfield, Calm Bay, Sveagruvan, de la IIème A.P.I. et Gjoåhavn 1903-1905) correspondent au moins à une année d'enregistrements; leurs $M_j - I'$ sont représentés par des points. Les deux autres, Kingua Fjord et Cap Thordsen de la Ière A.P.I., correspondent seulement à 24 jours d'enregistrements; leurs $M_j - I'$ sont représentés par des croix. Nous ne tracerons pas de courbe au travers de ces points; il semble cependant qu'on puisse dire que le maximum $M_j - I'$ a tendance à se produire à des heures plus matinales pour des inclinaisons décroissantes. Il a lieu autour du midi magnétique vers 85° d'inclinaison.



Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, de l'heure locale magnétique à 5000 km d'altitude $M_j - I'$ du maximum de la variation journalière de l'activité J en 8 stations de l'hémisphère Nord.

Figure 26

Les observatoires dont nous disposons dans l'hémisphère Sud ne nous apporteront pas beaucoup d'éléments supplémentaires. A Port-Martin (1951-1952) et Cap Denison (1912-1913) ($-86^\circ 4$ d'inclinaison aux deux stations), les valeurs de $M_j - I'$ sont respectivement 12.8 h et 12.3 h. Nous avons trouvé 13.1 h à Thulé ($I' = +87^\circ$). À Cap Evans, avec 36 mois d'enregis-

* Nous laissons de côté Fort Conger ($I' = 88^\circ$) de la Ière A.P.I., parce que les amplitudes a_j ont été mesurées sur les seuls enregistrements de D et que leur interprétation est trop incertaine.

trements (1902-1903 et 1911-1912) nous trouvons $M_J - T' = 15,6 \text{ h}^*$ pour une inclinaison $I' = -85^\circ$. Si nous faisons la moyenne des $M_J - T'$ de ces stations antarctiques, nous trouverions 13,2 h pour une inclinaison moyenne de -86° ; cette valeur viendrait se placer correctement si elle était portée sur la figure 26.

Des deux autres stations antarctiques, Gauss Land et Petite Amérique, nous renoncerons à déduire des valeurs de $M_J - T'$. En effet, d'une part, à Gauss Land ($I' = 82^\circ 0'$), la suite des a_i (cf. tableau II page 31) montre l'existence de 3 maxima successifs parmi lesquels il est difficile d'identifier celui qui correspondrait à l'activité J; mais ce même fait traduit la superposition, à l'onde d'activité N, d'une onde J assez importante, trait qui est significatif de la bordure intérieure de la zone aurorale vers les inclinaisons de 81° à 82° . D'autre part, à Petite Amérique ($I' = 82^\circ 0'$), nous ne disposons que d'à peine 5 mois d'enregistrement et les mesures n'ont été effectuées que sur la seule composante de la déclinaison; de plus, l'époque enregistrée correspondant à des mois d'hiver et d'équinoxe, il ne nous est pas possible d'identifier le maximum convenable par le critère de la variation saisonnière de l'intensité, puisque, très normalement (pour les deux activités N et J, l'intensité de l'activité est plus grande à l'équinoxe qu'en hiver), l'équinoxe a l'intensité la plus forte aux deux saisons; mais la même remarque que pour Gauss Land peut être faite; nous avons à Petite Amérique une suite de a_i qui est significative de la superposition des deux ondes d'activités vers 81° à 82° d'inclinaison à cause de l'importance relative de l'intensité des minima devant celle de la différence entre maxima et minima**.

En conclusion de cette étude de la phase de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale, nous pensons pouvoir dire :

- 1 - que vers 85° - 87° d'inclinaison, le maximum de l'activité J se produit aux environs du midi magnétique local dans les deux hémisphères Nord et Sud.
- 2 - que, lorsqu'on s'écarte de cette région pour aller vers des inclinaisons inférieures, il a tendance à se déplacer rapidement vers des heures plus matinales dans l'hémisphère Nord; nous ne pouvons préciser ce qui se passe vers ces inclinaisons dans l'hémisphère Sud.

Le grand écart qui apparaît sur la figure 26 entre les points situés vers 82° - 83° d'inclinaison pose cependant une question. Nous remarquerons, à ce sujet, que Godhavn*** ($I' = 83^\circ 0'$, $M_J - T' = 12,1 \text{ h}$) et Chesterfield ($I' = 82^\circ 3'$, $M_J - T' = 8,4 \text{ h}$) sont dans des positions géographiques telles, par rapport à Calm Bay ($I' = 82^\circ 3'$, $M_J - T' = 7,9 \text{ h}$) et Sveagruvan ($I' = 81^\circ 9'$, $M_J - T' = 7,6 \text{ h}$), que la déclinaison du soleil par rapport à l'équateur magnétique est supérieure d'une quinzaine de degrés quand le soleil traverse les méridiens magnétiques de ces deux premières stations. Nous pensons qu'un effet "géographique" est en partie responsable de cet écart; nous aurons à le justifier (cf. Chapitre VII. 6, 2).

* Cette valeur peut sembler déjà assez éloignée du midi magnétique local; la cause en est sans doute que cette station est située dans la région proche des pôles géographique et magnétique (cf. p. 33, note 1). En effet, nous remarquerons que, à cette station, la différence entre midi géographique et midi magnétique est de $-6,8 \text{ h}$, c'est-à-dire, que le M_J se produit à $8,7 \text{ h}$ géographique locale; la différence entre midi géographique et midi magnétique est de $-3,1 \text{ h}$ c'est-à-dire que le $M_J - T'$ est égal à $12,5 \text{ h}$. Ceci signifie que les angles entre méridiens géographique et magnétique ou géomagnétique sont très grands à cause de la position relative de Cap Evans entre pôles géographique et magnétique ou géomagnétique et que, par conséquent, la valeur de ces angles varie très rapidement dans cette région. Or, si le calcul de l'angle ψ géomagnétique d'où est déduite la valeur de T' est sûr, l'interpolation sur les valeurs des composantes X, Y, Z en altitude dont on a déduit la valeur de T' peut être beaucoup moins certaine à cause du gradient de variation très rapide de cette valeur. Ceci peut expliquer, pensons-nous, la valeur assez tardive de Cap Evans en temps magnétique en altitude.

** Le rapport de ces deux quantités est à peu près égal à 1, alors qu'il décroît jusqu'à moins de $1/3$ sur la zone aurorale (cf. chapitre VI, 2).

*** Kingua Fjord, situé très près de Godhavn et représenté par une croix sur la figure 26, n'est pas mentionné ici; la même remarque pourrait être faite à son sujet. De même pour le Cap Thorsen.

5.2. - Expansion de l'activité J à l'extérieur de la zone aurorale

Nous avons dit, au début de ce chapitre, les éléments dont nous disposons pour résoudre le problème de l'expansion ou de la non-expansion de l'activité J à l'extérieur de la zone aurorale. Nous aborderons celui-ci par l'étude des jours calmes. En effet, puisque cette activité n'a pas encore été reconnue en dehors des isoclines de 81° , nous savons que, si elle s'y manifeste, son intensité ne peut qu'y être faible; par contre, l'activité N y est le phénomène prépondérant. On comprend donc que l'utilisation des jours perturbés internationaux ne nous apprendra sans doute rien de nouveau, parce que jours perturbés signifie croissance très grande de l'activité N : la superposition d'une autre onde faible d'activité n'en apparaîtrait que plus mal.

Mais l'examen des enregistrements de Port-Martin, fait au début de l'Introduction, nous a appris qu'une des particularités de l'activité J était d'exister même par situation magnétique calme; ainsi, les deux jours d'enregistrement du haut de la figure 1 correspondent l'un à un jour calme international (8 août), l'autre (7 août) à un jour pour lequel l'amplitude planétaire A_p est du même ordre que celle des autres jours calmes internationaux du même mois. Nous aurons à revenir, dans l'étude de l'intensité des activités N et J (chapitre VI), sur cette propriété de l'activité J. En tous cas, elle peut nous inciter à chercher maintenant si, lors d'une activité N spécialement faible à l'extérieur de la zone aurorale ou sur celle-ci, l'activité J n'y apparaît pas sous la forme d'un second maximum.

Nous ne disposons cependant que de 60 jours calmes par an; il serait peu sûr d'utiliser une suite de valeurs a_i , dont chacun ne serait que la moyenne de 60 nombres, pour déterminer l'heure d'un maximum. Aussi, nous étudierons d'abord les séries d'années aux 4 observatoires situés entre les inclinaisons 78° et 66° . Dans ce cas, chaque a_i est constitué par la moyenne d'environ 600 nombres, ce qui est beaucoup plus raisonnable.

Le tableau ci-dessous donne l'heure du second maximum trouvé en ces 4 stations, en plus du maximum de nuit classique dû à l'activité N. Intentionnellement, nous ne l'appelons pas encore M_J ; le nombre d'années utilisées et l'inclinaison de chaque station sont précisés.

	n	I'	M-T'
Niemegk	11	$68^\circ 5$	13.8
Sitka	13	$74^\circ 4$	16.3
Sodankylä	9	$75^\circ 8$	15.6
College	11	$77^\circ 5$	15.2

Ces valeurs sont déduites des a_i annuels. Pour pouvoir affirmer que ce second maximum est bien du type J, nous devons recourir au critère de la variation saisonnière de l'intensité qui devrait alors croître de l'hiver à l'été. Pour le vérifier, nous avons calculé les a_i saisonniers pour celle de ces quatre stations qui est à la latitude la plus basse, et donc la plus éloignée du siège de l'activité J intense. Le tableau ci-dessous donne les valeurs des a_i et des A saisonniers pour les 11 années de Niemegk.

	a_i								A
Hiver	11.0	7.7	7.5	9.5	9.3	9.7	12.2	13.5	10.0
Equinoxe	13.1	10.0	9.3	12.0	12.2	11.7	12.0	13.8	11.8
Été	12.1	12.3	9.7	13.6	15.0	14.1	12.7	13.0	12.8

Sans qu'il soit nécessaire de construire les courbes représentant la variation de ces a_i , on voit comment, alors que le maximum de nuit* reste à peu près équivalent aux 3 saisons, une tendance pour l'apparition d'un maximum de jour existe en hiver, tandis qu'en été le maximum

* Les a_i sont centrés sur les intervalles tri-horaires 0-3 h, 3-6 h... TU. La longitude de Niemegk étant de $12^\circ 7'$, il est aisé de reconstituer les heures locales.

de jour est devenu supérieur au maximum de nuit. Ceci montre donc que la variation saisonnière de l'intensité des maxima de jour, trouvés précédemment aux 4 stations, est bien de même type que la variation saisonnière de l'intensité de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale.

L'existence d'un tel maximum secondaire est-elle retrouvée sur les courbes de variation journalière des amplitudes annuelles a_i des jours calmes aux autres observatoires non polaires (nous entendons ici ce terme au sens de $I' < 72^\circ$, selon la figure 11; cette limite est celle à partir de laquelle l'amplitude A ne décroît plus que très lentement) de la IIème A.P.I. ? Si nous regardons les suites des a_i annuels de ces observatoires, nous constatons tout d'abord que ce maximum secondaire n'apparaît pas à Niemegk, alors qu'il apparaissait sur la moyenne des 11 années; il n'apparaît pas non plus à Agincourt, à Cheltenham, ni au Val Joyeux. Mais il est net à Lerwick, Eskadlemuir, Lovö, Abinger (ordre d'inclinaison décroissante), où il se produit aux heures magnétiques locales respectives de 15,6 h, 15,3 h, 14,1 h, 14,7 h. Dans l'hémisphère Sud, il apparaît à Amberley et Toolangui (13,0 h et 14,0 h), mais n'existe pas à Watheroo, ni aux Orcades*.

De même, par l'examen attentif des courbes saisonnières de variation journalière pour tous les jours des amplitudes a_i , nous pouvons retrouver, sur le bord extérieur de la zone de fréquence aurorale maximum, l'existence d'un maximum secondaire analogue; ceci montre que l'activité J dans cette région est assez forte pour apparaître sur les courbes de tous les jours. A Sodankylä d'abord, où un tel maximum existe pour la IIème A.P.I. (cf. fig. 7; nous avons mentionné l'existence de ce maximum à la fin du chapitre II) et est retrouvé sur les seules courbes d'été de 7 années sur l'ensemble des 8 autres années étudiées. Il existe également sur les seules courbes d'été, pour la IIème A.P.I., de Petsamö, Abisko, Dombas et Kandalachka, où il se produit à des heures équivalentes dans l'après-midi. Ces 5 stations sont toutes dans le même secteur de longitude : on peut remarquer, en examinant les fréquences des indices K à ces stations, que ce maximum n'est pas provoqué par des indices K élevés, tels que 5 ou 6, mais par le remplacement, de l'hiver à l'été, des indices 0 ou 1 par des indices 2 ou 3; elle correspond donc à une agitation faible, mais fréquente à cette heure. Si un maximum apparent ne peut être vu sur les courbes de Meanook ou de Sitka, situés dans un secteur de longitude opposé à celui des stations précédentes, on peut cependant remarquer la même tendance sur les indices K de ces stations dans l'après-midi**. Enfin, cette tendance peut encore être remarquée à Heard dans l'après-midi; cette station est située sur le bord extérieur de la zone de fréquence aurorale maximum Sud.

Nous pouvons donc conclure de cette étude des jours calmes, confirmée sur le bord extérieur de la zone aurorale par l'étude de tous les jours, que l'activité J n'est pas un phénomène localisé à l'intérieur de la zone aurorale, mais qu'elle existe également sur le bord extérieur

* Nous pouvons noter ici que des études faites par deux auteurs différents pour deux observatoires individuels, sur de longues séries d'années, conduisent à montrer l'existence de ce maximum secondaire. J. M. Stagg (20) ayant dépouillé 11 années (1913-1923) d'enregistrements de Kew par la mesure des caractères horaires C (0, 1, 2) a montré l'existence d'un léger maximum secondaire dans l'après-midi à cet observatoire, maximum dont l'intensité est plus forte en été. E. Sucksdorff (21), ayant dépouillé 21 années (1914-1934) d'enregistrements de Sodankylä par la mesure de caractères horaires basés sur l'amplitude absolue de la composante verticale, a montré l'apparition nette en été d'un maximum secondaire dans l'après-midi; très net pendant les jours les plus calmes, ce maximum a tendance à diminuer quand l'activité augmente, et disparaît complètement par très forte activité.

** Nous avons remarqué, au chapitre IV. 1, que, à Niemegk, aucun maximum M_N n'avait pu être identifié sur 3 courbes d'été de la variation journalière des a_i de tous les jours. Ceci correspondrait, sans doute, à la présence d'une activité J importante interférant avec l'activité N.

de la zone aurorale et jusqu'aux latitudes moyennes (Niemegk). Or cette activité avait son intensité maximum aux environs du midi magnétique local dans la région située vers 86° d'inclinaison; l'heure de ce maximum se déplaçait rapidement vers des heures plus matinales sur le bord intérieur de la zone aurorale (vers 82° d'inclinaison). Nous constatons ici que ce maximum se produit dans l'après-midi à l'extérieur de la zone aurorale. Il nous reste à chercher s'il est possible de découvrir une continuité, de l'intérieur à l'extérieur de la zone aurorale, dans la variation de la phase de l'activité J avec l'inclinaison.

5.3. - L'activité J entre 77° et 81° d'inclinaison

Pour étudier le comportement de l'activité J entre les inclinaisons 77° et 81° , la difficulté provient de ce que l'activité N y est tellement forte (c'est la région du maximum assez aplati de la courbe de variation, en fonction de l'inclinaison, des amplitudes A ; cf. fig. 11) qu'il est d'autant plus probable que l'onde d'activité J, si elle existe, soit complètement absorbée. Ce phénomène peut se produire, non pas seulement par le fait de la décroissance rapide de l'intensité de l'activité J quand on s'éloigne de la région de 85° d'inclinaison pour arriver vers 82° (comparer par exemple, à ce sujet, les 3 premiers graphiques de la figure 7), mais aussi et surtout parce que si l'heure du maximum M_J continue à se déplacer aussi rapidement vers les heures matinales, cette activité J tendra à avoir son maximum à la même heure que l'activité N et y sera donc complètement noyée. Il devient ainsi impossible de la déceler directement dans cette région.

Nous pouvons alors revenir sur la forme de la courbe obtenue pour la variation, en fonction de l'inclinaison, du minimum $m - T'$ de la variation journalière de l'activité (cf. IV. 3 et fig. 23 ou 24); nous avons remarqué alors qu'il n'y avait pas de discontinuité entre la position du minimum précédant le maximum M_N des stations à double minimum (cercles pleins des figures) et la position du minimum des autres stations; en effet, la variation de la position de ce minimum devenait rapide vers des inclinaisons décroissantes, surtout à partir de 80° .

Or, si nous supposons que le maximum M_J continue son déplacement rapide vers des heures matinales (déplacement amorcé vers 82° à 83° d'inclinaison et trouvé expérimentalement au premier paragraphe de ce chapitre) quand on progresse vers des inclinaisons décroissantes, nous pouvons faire le raisonnement suivant : du fait de la très grande intensité de l'amplitude de la variation journalière de l'activité N, un maximum supplémentaire faible peut ne pas arriver à saillir de manière apparente sur la partie rapidement décroissante (et venant après le maximum M_N) de la courbe de variation journalière; mais il peut retarder suffisamment la décroissance de cette courbe pour que l'heure du minimum soit également retardée. Ceci rendrait compte de la forme observée pour la courbe représentant la variation de $m - T'$ en fonction de l'inclinaison. En effet, nous constatons sur cette courbe (fig. 23) que, de 81° à 77° d'inclinaison, l'heure du minimum tend rapidement vers la valeur à laquelle elle se stabilisera en-dessous de 74° d'inclinaison; c'est dire que la décroissance de la variation journalière de l'activité après le maximum nocturne est de plus en plus rapide parce qu'elle est de moins en moins retardée par la présence d'une onde J de plus en plus faible, qui continue à se déplacer vers des heures plus matinales et tendrait finalement à se superposer à l'onde d'activité N.

Nous aurions alors l'explication de la présence de l'activité J, à des heures vespérales, sur le bord extérieur de la zone aurorale et aux latitudes moyennes; il y aurait une continuité dans la variation de la phase de l'activité J depuis l'intérieur de la zone aurorale jusqu'aux latitudes moyennes. En effet, le maximum de cette activité se produisant au midi magnétique local vers 85° - 86° d'inclinaison, il se déplacerait rapidement vers des heures matinales à partir de 82° - 83° , traverserait la zone aurorale en se confondant avec le maximum nocturne de l'activité N, et, continuant à se déplacer dans le même sens, réapparaîtrait dans l'après-midi à l'extérieur de la zone aurorale.

5.4. - Conclusion

Dans quelle mesure la variation de la phase de l'activité J, telle qu'elle vient d'être décrite, repose-t-elle sur des bases solides* ?

Pour la zone comprise à l'intérieur de l'isocline de 81° , la description semble sûre y compris l'amorce du déplacement rapide vers les heures matinales. Pour la zone comprise à l'extérieur de l'isocline de 76° , l'identification du maximum secondaire comme appartenant à l'activité J est exacte dans la mesure où le critère qui a permis de la reconnaître, à savoir la variation saisonnière de l'intensité, est valable.

La question reste posée de savoir si la continuité que nous avons cherché à établir entre ces deux zones, pour la variation de la phase de l'activité, est certaine. La variation rapide de la phase qui s'amorce vers 82° - 83° d'inclinaison est en sa faveur. Cependant il faut remarquer que cette variation doit être pratiquement d'une demi-journée pour que le maximum de 6 heures du matin devienne, après la traversée de la zone aurorale, un maximum de 6 heures de l'après-midi; ce déphasage semble vraiment très grand. Nous aurons à préciser ce qu'il peut signifier (chap. VII. 6. 2.).

Notons enfin que, si nous n'avons pu déterminer le sens du début de la variation rapide de la phase à l'intérieur de l'isocline de 81° de l'hémisphère Sud, les résultats obtenus pour Heard (bord extérieur de la zone aurorale) et Amberley ou Toolangui (latitude moyenne) sont en faveur d'une variation analogue dans les deux hémisphères. En effet, l'activité J apparaît, à ces stations, dans l'après-midi et non dans la matinée.

* Nous pouvons remarquer que l'intervalle tri-horaire, choisi comme constante d'intervalle de temps pour la mesure de l'activité, nous dessert sans doute ici. Un intervalle plus petit, malgré la difficulté que pose le problème de l'adoucissement des courbes, nous eût peut-être permis d'observer des maxima secondaires faibles sur les parties décroissantes des courbes d'activité des observatoires à agitation N maximum. Il n'est cependant pas évident qu'ils auraient pu être identifiés avec sûreté.

Chapitre VI

L'INTENSITÉ DES ACTIVITÉS N ET J

Dans l'étude des phases des activités N et J, étant donné la faible dispersion des M-T' pour les séries d'années qui ont été utilisées et qui couvraient pratiquement un cycle complet d'activité solaire, il était impossible de déceler une variation de ces valeurs au cours du développement d'un cycle. Il n'en est pas de même dans l'étude des intensités, car il est bien connu à quel point celles-ci sont fonction des conditions d'activité solaire. Si nous avons donc, comme dans l'étude des phases, à définir la variation en latitude du phénomène, nous devons aussi vérifier si cette variation ne subit pas une déformation au cours d'un cycle solaire.

Quel paramètre choisirons-nous pour estimer l'intensité de l'activité solaire? On sait combien est délicate la question de la corrélation entre activité magnétique et activité solaire. Aussi, plutôt que de choisir une donnée directe d'activité solaire, telle que les nombres de Wolf, nous lui avons préféré une donnée d'activité magnétique ayant un caractère universel. Une telle quantité nous donne bien ce que nous cherchons, à savoir un paramètre lié à l'activité solaire; et d'autre part, bien que cette quantité soit directement déduite de l'activité magnétique, son caractère d'universalité nous assure qu'il ne nous empêchera pas de faire ressortir, si elle existe, la déformation de la variation en latitude de l'intensité des activités N et J.

Plutôt que le caractère international C, c'est l'amplitude journalière A_p que nous avons retenue pour remplir ce rôle. Elle présente l'avantage d'être très comparable à nos données d'activité en chaque observatoire puisqu'elle est calculée, à partir des indices K_p , par une méthode analogue (cf. chapitre I. 3.). Le tableau ci-après donne les valeurs saisonnières et annuelles de A_p pour la IIème A.P.I. (1932-1933) et la période de 1940-1953, les valeurs mensuelles publiées (22) ayant été groupées suivant le schéma indiqué au chapitre II. 4. Par exemple, 1947-1948 représente les mois courant de novembre 1947 à octobre 1948. La valeur d pour 1940 ne correspond qu'à deux mois (janvier et février de ce millésime) puisque nous n'avons utilisé aucune donnée de 1939.

	d	e	j	y
1932-1933	9.5	11.8	9.0	10.1
1940	13.5	20.8	13.5	15.8
1940-1941	15.8	21.5	14.3	17.2
1941-1942	12.0	19.5	10.5	14.0
1942-1943	11.5	19.3	18.0	16.3
1943-1944	14.8	13.5	8.0	12.1
1944-1945	10.0	12.8	8.0	10.2
1945-1946	14.0	25.0	16.5	18.5
1946-1947	11.5	26.0	18.0	18.5
1947-1948	12.5	18.0	14.8	15.1
1948-1949	16.0	17.8	13.3	15.7
1949-1950	13.5	20.5	17.3	17.1
1950-1951	18.5	28.0	19.8	22.1
1951-1952	20.8	27.4	18.0	22.1
1952-1953	14.5			

Pour nous servir de ces valeurs A_p comme paramètre d'activité solaire, deux méthodes sont possibles. La première, qui respecterait "l'histoire" du cycle solaire, consisterait à comparer à la courbe des A_p en fonction des années les différentes courbes des quantités étudiées en fonction de ces mêmes années; cette comparaison serait délicate. La seconde méthode, et nous l'adopterons, consiste à considérer les A_p comme des abscisses sans tenir compte de leur ordre chronologique, et à porter les quantités étudiées correspondant à ces A_p en ordonnées.

Dans cette étude de l'intensité de l'activité, nous l'avons dit à la fin du chapitre II, nous ne pouvons nous contenter d'analyser la variation de l'intensité journalière moyenne de l'activité, mais nous devons chercher à obtenir des renseignements sur la forme de la variation journalière. Aussi nous utiliserons successivement :

- 1 - l'amplitude moyenne A , qui représente le niveau moyen de l'activité au cours de la journée,
- 2 - l'amplitude minimum $a_{\min}$, qui représente le niveau minimum de l'activité au cours de sa variation journalière; nous l'avons appelée "fond continu d'activité",
- 3 - la différence entre l'amplitude maximum et l'amplitude minimum, $a_{\max} - a_{\min}$, qui représente la différence entre les niveaux maximum et minimum de l'activité au cours de sa variation journalière; nous l'avons appelée "amplitude de la variation journalière d'activité" *.

Dans un premier paragraphe, nous étudierons les valeurs annuelles et saisonnnières de la quantité A pour tous les jours, et nous comparerons les valeurs annuelles de cette même quantité pour les jours calmes et les jours perturbés. Dans un second paragraphe, nous étudierons les valeurs annuelles et saisonnnières des quantités $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ pour tous les jours. Les documents utilisés proviendront soit de l'ensemble homogène dans le temps de la IIème A.P.I., soit des séries d'années dont nous disposons à six observatoires. Enfin, dans un troisième paragraphe, nous essayerons de rattacher ou de comparer à ces documents les autres documents hétérogènes dans le temps.

6.1. - L'amplitude moyenne A

6.1.1. - Valeurs annuelles A pour tous les jours. — Cherchant à définir un paramètre magnétique, nous avons déjà obtenu au chapitre III.3 (fig. 11) une courbe donnant la variation de A_y en fonction de l'inclinaison pour la IIème A.P.I. Nous devons seulement chercher ici comment cette courbe se déforme avec le changement des conditions d'activité solaire.

Pour cela, nous avons construit des graphiques représentant la variation des amplitudes annuelles A_y aux six observatoires de Niemegk, Sitka, College, Sodankylä, Godhavn et Thulé en fonction des amplitudes A_p correspondantes; leur variation en fonction de A_p étant supposée linéaire dans tous les cas, des droites moyennes ont été tracées par estimation. La figure 27 donne le résultat ainsi obtenu. Des droites, on a déduit les équations du tableau ci-dessous, qui schématisent numériquement la variation des A_y en fonction de A_p^{**} ; l'ordre de grandeur de l'écart moyen des points expérimentaux à ces droites peut être obtenu en faisant la moyenne des $\Delta A/A$ où ΔA est l'écart de chaque point expérimental à la droite, et en en déduisant le ΔA_{15} absolu correspondant à un A_p égal à la valeur médiane de l'intervalle de variation des A_p . Ces deux quantités figurent dans ce tableau.

* Nous avons retenu ce terme, malgré l'équivoque qu'il peut créer. En effet, chaque a_i est lui-même une amplitude moyenne; il s'agit ici d'amplitude de la variation journalière des amplitudes a_i .

** De telles équations ne sont évidemment valables que dans l'intervalle de variation des A_p ; à Thulé, où nous n'avons que six années, le résultat est moins sûr.

Station	Equation	$\Delta A/A$	ΔA_{15}
Niemegk	$A_y = 1.1 A_p + 11$	± 0.06	1.8
Sitka	$A_y = 1.2 A_p + 2$	± 0.04	2.6
Sodankylä	$A_y = 6.3 A_p + 18$	± 0.03	3.6
College	$A_y = 10.0 A_p + 22$	± 0.06	10.7
Godhavn	$A_y = 5.5 A_p + 46$	± 0.06	8.9
Thulé	$A_y = 3.4 A_p + 53$	± 0.06	5.7

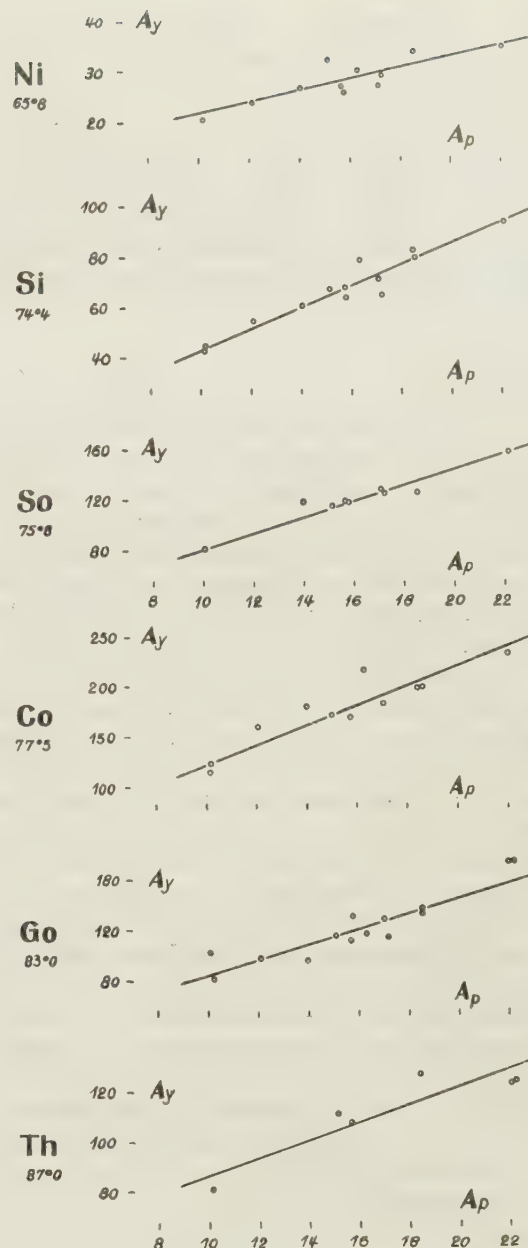
Ces équations vont nous permettre de vérifier si la courbe de la figure 11 (A_y en fonction de I') se déforme avec la variation de A_p . En effet, nous pouvons calculer, aux six observatoires précédents, les A_y théoriques qui correspondraient, par exemple, à des valeurs de A_p égales à 10 et 20. Le tableau ci-dessous donne les rapports des valeurs théoriques ainsi obtenues pour chacune des six stations et y précise la valeur de I' .

Station	Rapport A_{20}/A_{10}	I'
Ni	1.50	65°8
Si	1.95	74°4
So	1.78	75°8
Co	1.82	77°5
Go	1.53	83°0
Th	1.41	87°0

Nous constatons que ce rapport n'est pas constant, ce qui montre bien que la courbe de la variation du niveau moyen d'activité en fonction de l'inclinaison se déforme au cours du cycle solaire. Deux remarques peuvent être faites.

1 - Dans la région où l'activité est du type J pur (Thulé), le rapport est le plus petit; ceci signifie que l'activité y croît moins qu'ailleurs, et nous retrouvons le fait, déjà mentionné dans l'Introduction, d'une tendance de cette activité J à être relativement forte, même en période relativement calme magnétiquement.

2 - Ne disposant pas de stations permanentes entre 77°5 et 83° d'inclinaison, nous ne pouvons dire si la valeur du rapport y serait plus grande que partout ailleurs; cependant le fait que, selon les données du tableau précédent, cette valeur soit nettement supérieure à Sitka, incite à penser que A_y , au cours du cycle solaire, croîtrait proportionnellement de manière plus importante vers 75° d'inclinaison que vers 80°. Si cette supposition était exacte, elle correspondrait à la propriété bien connue de l'élargissement de la zone aurorale en période de grande activité.



Variation, en fonction de l'amplitude planétaire A_p , du niveau moyen annuel A_y de l'activité en 6 stations.

Figure 27

6.1.2. - Valeurs saisonnières A pour tous les Jours. — Du point de vue de la variation saisonnière des amplitudes A , nous pouvons nous attendre à retrouver la propriété classique de l'activité magnétique d'être nettement plus grande aux équinoxes qu'aux autres saisons. Cette propriété est bien marquée, par exemple, sur les valeurs saisonnières A_p du tableau donné au début de ce chapitre; si nous faisons les moyennes des A_p pour les trois saisons d, e et j, nous obtiendrions respectivement 13.8, 20.1 et 14.2 : sur ces 14 années, la plus grande intensité de l'activité pendant l'équinoxe est donc nettement marquée, tandis que les moyennes des deux autres saisons sont tout à fait équivalentes. Cependant, si nous nous reportons au tableau précité (p. 67), nous constatons que l'une ou l'autre de ces saisons peut alternativement être très supérieure en intensité à l'autre, par exemple 1943-1944 ou 1946-1947.

Il se trouve, tout à fait par hasard, que les A_p d'hiver et d'été sont équivalents (9.5 et 9.0) pour la IIème A.P.I.; nous avons donc un excellent moyen de contrôler si, à équivalence d'activité entre les deux saisons sur l'ensemble du globe, il y a équivalence d'activité dans les régions polaires: ce contrôle est justifié puisque Sitka et Meanook ($I' = 75^\circ$ environ) sont les stations de plus grande inclinaison qui entrent dans la détermination de A_p .

La figure 28 représente les courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison, des valeurs saisonnières A_j , A_e et A_d des observatoires Nord de la IIème A.P.I.; les points expérimentaux à l'aide desquels ces courbes ont été tracées correspondent aux groupes de stations définis au chapitre III. 3.

L'effet de l'activité J apparaît nettement sur les courbes vers 85° d'inclinaison puisque, malgré l'équivalence des A_p saisonniers d et j ou la supériorité du A_p saisonnier e, elles montrent que l'ordre décroissant d'intensité est j, e, d. Vers 82° , cet effet tend à s'atténuer à cause de la superposition des deux ondes J et N. A partir de 81° , l'équinoxe devient nettement supérieure en intensité, pour le rester jusqu'aux latitudes moyennes: nous sommes définitivement dans une région où l'activité N est prépondérante. Si, dans cette région, nous faisons pour chaque inclinaison le rapport entre la valeur d'équinoxe et la moyenne des valeurs d'été et d'hiver, aucune variation nette de ce rapport n'apparaîtrait; la propriété que possède l'équinoxe d'avoir une intensité supérieure aux deux autres saisons est donc quantitativement la même partout où l'activité N est prépondérante.

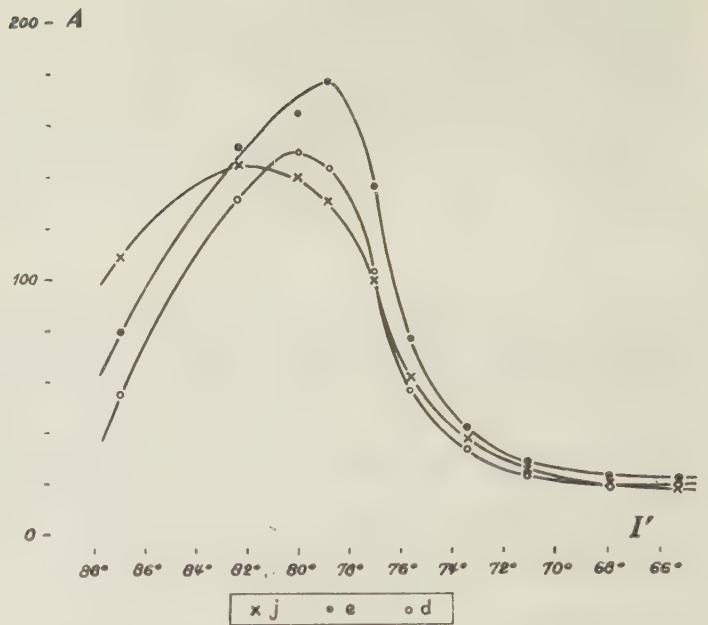
Par contre, cette figure 28 nous invite à résoudre deux problèmes:

- 1 - Vers 79° d'inclinaison, l'intensité de l'hiver (d) est supérieure à celle de l'été (j); vers 75° , le contraire se produit. Ce phénomène est très faible; est-il réel?
- 2 - Pouvons-nous préciser les lois de la variation saisonnière de l'activité J au-dessus de 82° d'inclinaison?

Une réponse à la première question peut être donnée en étudiant les séries d'années des observatoires de Sitka, Sodankylä et College. Nous calculons les deux A_p moyens correspondant à chaque série des hivers et des étés de ces observatoires; de ces A_p moyens, nous pouvons déduire une valeur "théorique" des amplitudes A_d ou A_j , en ces stations, à partir des équations obtenues précédemment* (cf. p. 69), valeur que nous comparerons à la valeur moyenne "réelle" des amplitudes A_d ou A_j . Le tableau ci-dessous donne les différences entre les valeurs réelles et les valeurs théoriques.

Stations	d	j	I'
Si	-2.9	+1.5	$74^\circ 4$
So	-2.5	+1.1	$75^\circ 8$
Co	-5.3	-0.8	$77^\circ 5$

* Les équations ont été obtenues à partir des valeurs annuelles; les valeurs théoriques que nous en déduirons ne peuvent donc être affectées de l'effet saisonnier que nous cherchons ici à mettre en relief.



Courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, du niveau moyen A pour les 3 saisons, aux stations de l'hémisphère Nord de la IIème A. P. I.

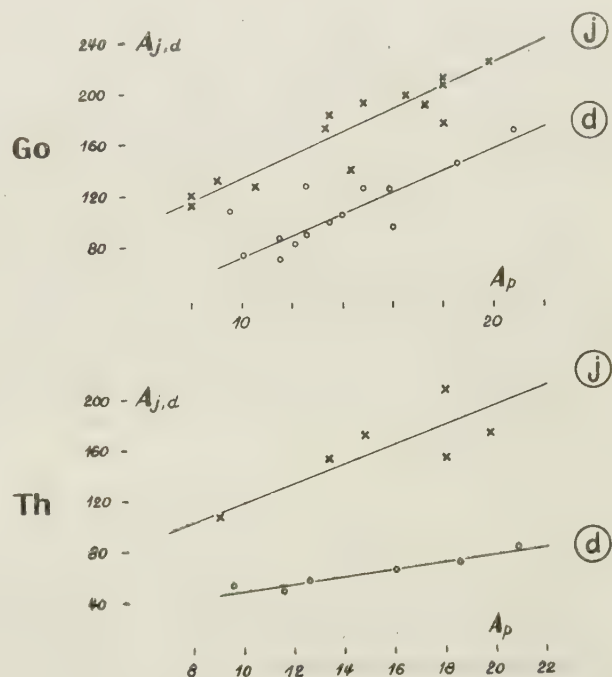
Figure 28

Ces différences étant toutes inférieures, ou au plus égales, aux ΔA_{15} définissant la précision des équations (cf. p. 69), nous sommes amenés à conclure qu'à activité planétaire égale, il n'y a pas plus de différence entre l'hiver et l'été pour l'intensité du niveau moyen de l'activité N sur la zone aurorale qu'aux latitudes moyennes.

Il n'en est évidemment pas de même pour l'activité J à l'intérieur de l'isocline 81°. Pour préciser ce que nous indique déjà à ce sujet la figure 28, nous pouvons étudier les amplitudes saisonnières A_j et A_d de Godhavn et Thulé en fonction de A_p .

La figure 29 représente les valeurs saisonnières A_j et A_d des 14 années de Godhavn et des 6 années de Thulé. Alors que des graphiques analogues pour College, Sodankylä, Sitka ou Niemegk auraient montré un mélange des points d'hiver et d'été, nous trouvons ici une séparation très nette; les valeurs d'été ont tendance, à Godhavn, à se placer sur une droite approximativement parallèle à celle sur laquelle se situent les valeurs d'hiver (d), l'écart entre ces deux droites étant de l'ordre de 60 gammas; à Thulé, l'écart augmente, mais la droite d'été a une pente plus forte que la droite d'hiver.

Nous pouvons aisément rattacher cette différence au fait que, à Godhavn, l'onde d'activité N est encore assez intense pour se superposer à l'onde J, tandis qu'à Thulé, nous voyons apparaître la variation saisonnière de l'onde J pure. Pour confirmer ceci, il serait nécessaire de pouvoir séparer les intensités dues à chacun des deux types d'activité, ce que ne fait pas l'amplitude A. En conséquence, avant de chercher à définir numériquement la variation saisonnière de l'activité J, nous devons réaliser cette séparation : c'est ce que nous essaierons de faire au paragraphe 2.2. de ce chapitre.



Variation, en fonction de l'amplitude planétaire A_p , du niveau moyen saisonnier A de l'activité pour l'été (j) et l'hiver (d) à Godhavn et à Thulé.

Figure 29

6.1.3. - Valeurs annuelles A pour les jours calmes et perturbés. — Nous devons enfin, pour en finir avec le niveau moyen d'activité, étudier sa variation en fonction de l'inclinaison pour les jours calmes (q) et pour les jours perturbés (d). La figure 30 représente les courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison, des valeurs annuelles A_q et A_d des observatoires de la IIème A. P. I.; les points expérimentaux à l'aide desquels ces courbes ont été tracées correspondent aux groupes de stations définis au chapitre III. 3.

Cette figure nous permet une première remarque. Si nous continuons à définir le bord extérieur de la zone aurorale par le moment où, à partir des basses inclinaisons, le niveau moyen de l'activité commence à croître rapidement, nous constatons qu'en cas de très faible activité (A_q), ce bord extérieur se situe vers 76° d'inclinaison (latitude équivalente : 64°); en cas de très forte activité (A_d), il se situe vers 71° (latitude équivalente : 55°). Nous confirmons donc ici ce que nous avons essayé de montrer, à la fin de l'étude des valeurs annuelles de tous les jours, quand nous comparions des A annuels, à six stations, pour des A_p égaux à 10 ou 20. La variation d'activité étant beaucoup plus intense (les valeurs de A_p pour les jours calmes et perturbés de la IIème A. P. I. sont respectivement de 3.1 et 24.8)* et utilisant non plus 6 stations mais 32, nous pouvons estimer à 9° de latitude l'élargissement de la zone aurorale pour cette variation de A_p .

* La différence entre ces deux valeurs de A_p est très grande. Elle est sans doute plus grande qu'elle ne serait si, pour des indices K faibles ($K = 0$ et 1), les coefficients α_A , indiqués au Chapitre I. 2 et utilisés pour la transformation des K_p en amplitudes A_p , étaient égaux à la moyenne arithmétique des limites successives de l'échelle de mesure des indices.

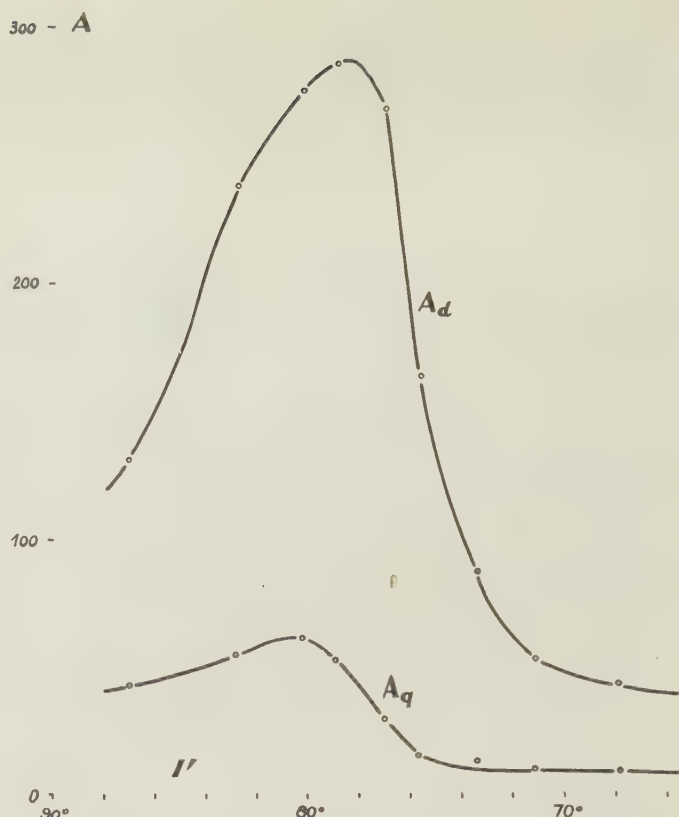
Une seconde remarque peut être faite. En effet, alors que la décroissance est très rapide au-dessus de 80° d'inclinaison pour A_d , elle est très faible pour A_q . Cette propriété sera mise en relief par la figure 31 représentant la variation du rapport A_d/A_q . On voit que ce rapport est le plus faible dans la région située au-dessus de 80° d'inclinaison et qu'il devient nettement inférieur vers 85° d'inclinaison. Ceci confirme que l'activité J reste relativement intense pendant une situation magnétique relativement calme. Cette propriété avait déjà été signalée, soit dans l'Introduction lors de la description morphologique des enregistrements de Port-Martin, soit dans ce chapitre à la fin de l'étude des valeurs annuelles de tous les jours; elle apparaît ici avec beaucoup plus de netteté.

La forme très pointue de la courbe A_d/A_q entre 74° et 78° d'inclinaison montre bien par ailleurs comment, en cas de très forte activité, c'est cette région qui est, proportionnellement, la plus violemment perturbée. Nous devons voir dans quelle mesure ceci signifie que le phénomène primaire, provoquant l'activité N et constitué par une arrivée de corpuscules extra-terrestres, peut être situé surtout dans cette même région.

Nous n'étudierons pas la variation saisonnière en intensité des amplitudes A_q et A_d aux observatoires individuels pour lesquels nous avons une longue série d'années, parce qu'une telle étude ne nous apprendrait rien d'important sur l'activité N. Par contre, en tant que Thulé est spécifique de l'activité J pure, cette station mérite une mention spéciale. Le tableau ci-dessous donne les valeurs moyennes des amplitudes A à Thulé pour les 3 saisons des 6 années, dans le cas des jours calmes et celui des jours perturbés; nous précisons, à titre de repère simultané de l'intensité de l'activité N, les valeurs moyennes correspondantes de A_p .

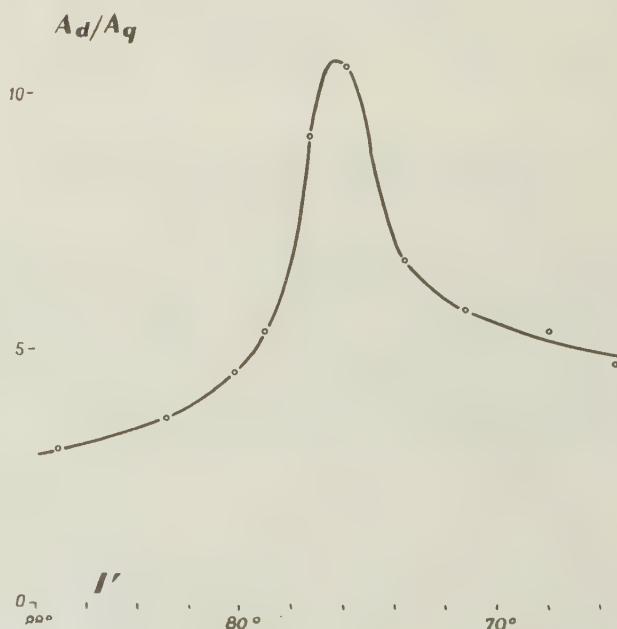
	Jours calmes		Jours perturbés	
	A_p	A	A_p	A
d	4.0	22.3	38.8	119.6
e	5.4	53.9	55.7	177.4
j	4.9	104.3	38.2	239.2

Nous retrouvons d'une part, en comparant ces valeurs horizontalement, que le rapport "jours perturbés sur jours calmes" est beaucoup plus faible pour A (Thulé) que pour A_p (activité N). Mais d'autre part, nous remarquons, en comparant ces valeurs verticalement, que, pour A, l'accroissement saisonnier de l'hiver à l'été est deux fois plus grand



Courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, du niveau moyen annuel A de l'activité pour les jours calmes et les jours perturbés aux stations de l'hémisphère Nord de la IIème A. P. I.

Figure 30



Variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, du niveau moyen annuel A de l'activité pour les jours calmes et perturbés (q et d) aux stations de l'hémisphère Nord de la IIème A.P.I.

Figure 31

sur les jours calmes que sur les jours perturbés. La propriété de l'activité J , selon laquelle cette activité serait d'une certaine manière plus sensible à des conditions calmes qu'à des conditions perturbées d'agitation, n'avait encore été décelée qu'à partir de valeurs annuelles; nous la précisons ici en constatant que le critère essentiel qui permet de reconnaître l'activité J , à savoir l'intensité croissante de l'hiver à l'été, est plus accentué par situation calme que par situation agitée.

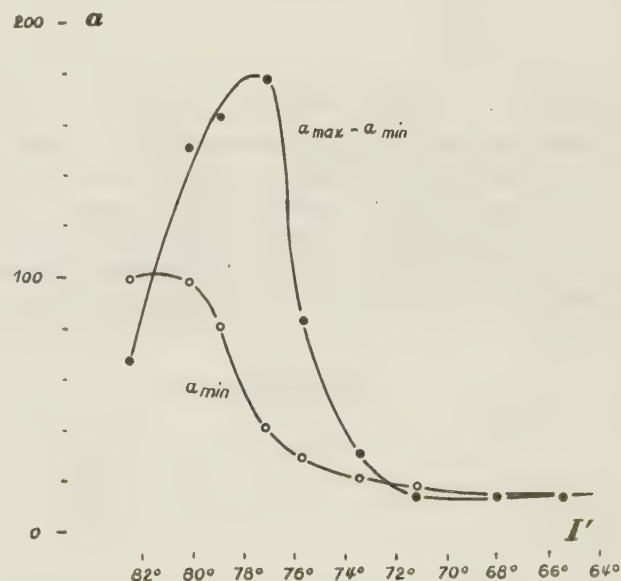
6.2. - Le fond continu d'activité $a_{\min}$ et l'amplitude de la variation journalière $a_{\max} - a_{\min}$

Après l'étude du niveau moyen de l'intensité de l'activité, défini par l'amplitude A , nous analyserons maintenant des données qui sont sans doute moins précises, puisqu'elles résultent d'amplitudes a_i et non plus d'amplitudes A dont chacune était la moyenne de 8 a_i , mais qui nous permettront cependant d'atteindre un point de vue essentiel sur l'intensité de l'activité, à savoir de définir quelle est la forme de sa variation journalière. Les noms dont nous avons appelé les deux quantités $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ précisent bien à cet égard ce que nous entendons par la forme de la variation journalière; nous verrons ultérieurement (chapitre VIII. 1) la signification qu'il est possible de donner à chacune d'elles.

Nous bornant aux données provenant de tous les jours, nous étudierons d'abord les stations comprises entre 65° et 82° d'inclinaison (activité N prépondérante), puis celles comprises entre 81° et le pôle (activité J prépondérante). Dans le premier cas, le $a_{\max}$ correspondra à une mesure faite sur le maximum de l'activité N ; dans le second, à une mesure faite sur le maximum de l'activité J .

6.2.1. - Activité N . — La figure 32 représente les courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison, des valeurs annuelles des quantités $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ pour les observatoires Nord de la IIème A. P. I.; les points expérimentaux à l'aide desquels ces courbes ont été tracées correspondent aux groupes de stations définis au chapitre III. 3.

Des différences très nettes apparaissent dans le comportement de ces deux quantités. A partir des inclinaisons inférieures, la seconde, qui représente "l'amplitude de la variation journalière de l'activité", croît beaucoup plus vite que la première qui représente le "fond continu d'activité". D'autre part on pourrait penser que, vers 80° , l'intensité très grande de $a_{\min}$ est due à l'influence d'une activité J qui se ferait sentir jusque dans cette région, et qui tendrait à faire monter le niveau du fond continu; si cela est exact vers 82° - 83° , il n'en est rien à 80° où la variation saisonnière de l'intensité de $a_{\min}$ est du même type que celle de l'activité N (c'est-à-dire intensité plus grande pendant l'équinoxe). Donc, deuxième différence, le maximum d'intensité de l'amplitude de la variation journalière de l'activité se situe vers 77° d'inclinaison, tandis que le maximum du fond continu d'activité se situe vers 80° . Ceci traduit bien les différences de forme de la variation journalière de l'activité quand on traverse la zone aurorale, différences qui n'apparaissent pas sur la variation de l'intensité du niveau moyen A de l'activité: en effet, la variation journalière est plus accentuée vers 77° que vers 80° ; mais, à cause de l'importance du fond continu qui continue à croître vers le bord intérieur de la zone aurorale, tout se passe pour la variation de l'intensité du niveau moyen comme si elle était à peu près constante de 77° à 81° (maximum aplati de la courbe de la figure 11). Troisième remarque enfin: nous noterons que, vers 77° d'inclinaison, le $a_{\min}$ est de l'ordre de 40 gammas et le $a_{\max}$ supérieur à 200 gammas; c'est dire



Courbes adoucies de la variation, en fonction de l'inclinaison magnétique à 5000 km d'altitude, du fond continu ($a_{\min}$) et de l'amplitude de la variation journalière ($a_{\max} - a_{\min}$) de l'activité N aux stations de l'hémisphère Nord de la IIème A. P. I.

Figure 32

la différence extrêmement grande entre les conditions d'activité de jour et de nuit, différence apparaissant cependant à partir de données de tous les jours, c'est-à-dire en dehors de conditions spécifiquement perturbées.

Comme dans le cas des amplitudes A , nous pouvons chercher comment ces deux quantités varient au cours d'un cycle solaire. Dans ce but, les graphiques des $a_{\min}$ et des $a_{\max} - a_{\min}$ en fonction des A_p ont été construits pour les stations de Niemegk, Sitka, Sodankylä et College; la dispersion des points, qui reste analogue à celle des A_y pour les $a_{\min}$, est plus grande pour les $a_{\max} - a_{\min}$; les équations des droites tracées au travers de ces points permettent de déterminer, pour des A_p égaux à 20 et 10, des valeurs théoriques des $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ à ces stations. Le tableau ci-dessous donne les rapports, correspondant à ces deux valeurs de A_p , pour les $a_{\min}$ et les $a_{\max} - a_{\min}$.

Stations	$a_{\min}$	$a_{\max} - a_{\min}$	I'
Ni	1.61	1.60	65°8
Si	1.86	2.25	74°4
So	1.89	1.85	75°8
Co	2.08	1.57	77°5

Nous voyons que l'amplitude journalière de l'activité ($a_{\max} - a_{\min}$) suit une loi analogue à celle de l'élargissement de la zone aurorale, telle que nous l'avons trouvée pour les amplitudes A (voir le tableau de la page 69). Par contre, les rapports relatifs au fond continu ($a_{\min}$) croissent jusqu'à une inclinaison plus élevée; nous ne pouvons dire, faute de longues séries d'années utilisables vers 79° ou 80° d'inclinaison, jusqu'où ils continuent à croître; mais nous constatons que la différence de comportement, au cours d'un cycle solaire, entre fond continu et amplitude journalière de l'activité est tout à fait semblable à celle qui était trouvée à partir des documents de la IIème A.P.I. (fig. 32). Dans ce dernier cas, les régions du maximum d'intensité de ces deux quantités sont décalées de 3 à 4° d'inclinaison vers le Sud; dans le premier, nous constatons que les régions du maximum relatif de "déformation" des courbes représentant la variation de ces deux quantités sont décalées dans le même sens.

Existe-t-il une variation saisonnière des $a_{\min}$ et des $a_{\max} - a_{\min}$? Nous ne chercherons pas, pour le déterminer, à utiliser les documents de la IIème A.P.I.; mais nous nous contenterons de comparer les valeurs saisonnières moyennes de ces quantités pour les séries d'années de Sitka, Sodankylä et College. D'autre part, nous savons par l'étude des A que l'intensité de l'activité est plus forte à l'équinoxe, mais équivalente en moyenne, aux autres saisons. En conséquence, nous comparerons seulement hiver (d) et été (j). Le tableau ci-dessous donne les rapports d/j des quantités respectives $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ aux trois stations*.

Stations	$a_{\min}$	$a_{\max} - a_{\min}$	I'
Co	0.85	1.52	77°5
So	0.78	1.34	75°8
Si	0.72	1.23	74°4

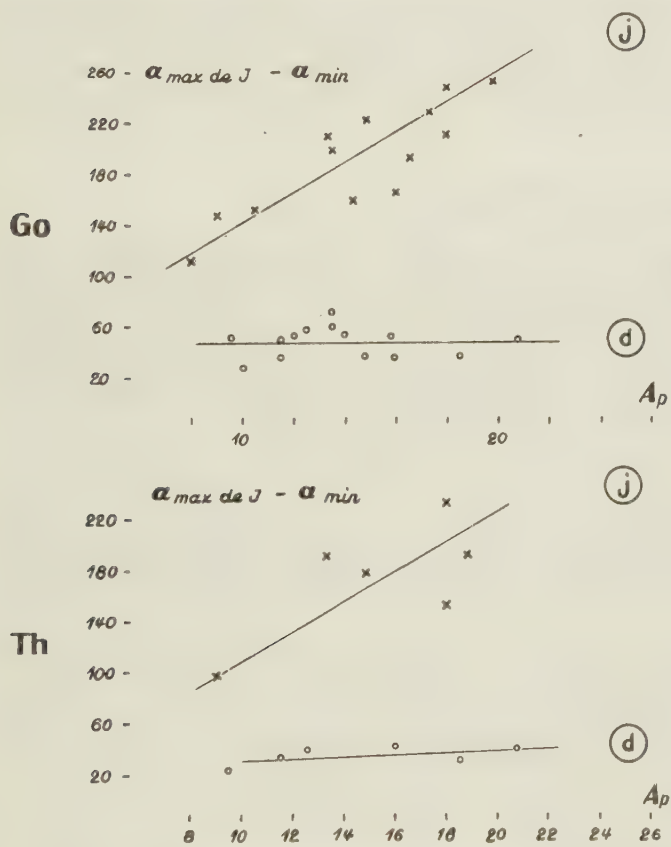
Il existe donc une différence importante, entre été et hiver, dans la forme de la variation journalière de l'activité N à ces latitudes. Selon les rapports relatifs à $a_{\min}$, le fond continu est plus grand en été (j) qu'en hiver (d); inversement, l'amplitude de la variation journalière

* Pour ces 3 stations, les rapports correspondants de l'amplitude planétaire A_p sont : 0.96, 0.98 et 0.99; ceci nous assure que l'intensité de l'activité N , prise dans son ensemble, était bien équivalente de l'hiver à l'été.

est plus grande en hiver qu'en été. Donc, malgré un niveau moyen d'activité (amplitudes A) équivalent aux deux saisons, il existe une variation saisonnière de l'activité N à ces latitudes. Le relèvement du fond continu en été, du même sens que la variation saisonnière de l'intensité de l'activité J , pourrait peut-être être attribué à celle-ci. Par contre, la variation des rapports $a_{\max} - a_{\min}$ est plus importante; elle n'est donc pas due à la seule diminution de l'intensité du minimum en hiver, mais aussi à l'augmentation de celle du maximum*, et doit être attribuée à une variation de l'activité N ; tout se passe comme si, à A_p équivalent, l'agitation provoquée au moment du maximum de la variation journalière était plus grande en hiver qu'en été. Nous devons voir si un tel phénomène peut être interprété.

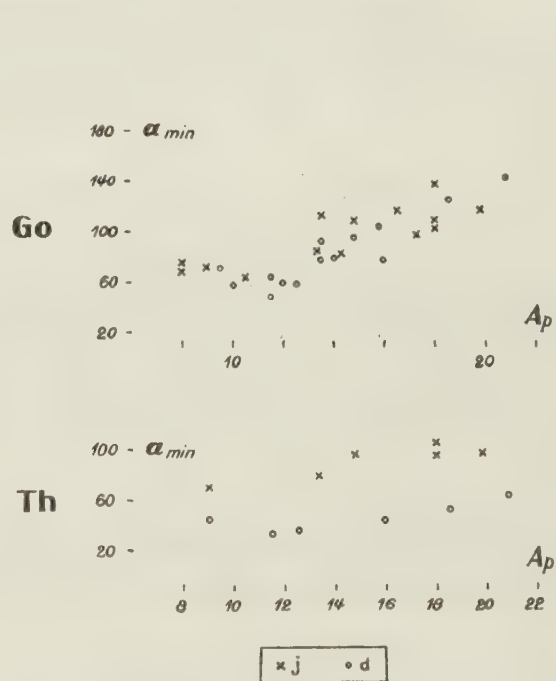
6.2.2. - Activité J . — Nous devons maintenant faire l'étude des quantités $a_{\min}$ et $a_{\max} - a_{\min}$ dans la région où l'activité J est prépondérante. Nous nous bornerons à l'analyse des séries d'années à Godhavn et Thulé, afin de résoudre le problème laissé en suspens au paragraphe 1.2., à savoir : y-a-t-il une différence entre la variation saisonnière de l'intensité de cette activité à ces deux stations? La figure 29, relative aux amplitudes A , ne nous permettait pas de le dire, puisque celles-ci, en tant que représentant le niveau moyen d'activité, mélangent les activités N et J à Godhavn.

La figure 33, qui représente, en fonction de A_p , les valeurs saisonnières des $a_{\max} - a_{\min}$ de Godhavn et Thulé pour l'hiver et l'été (d et j), nous montre que, aux deux stations, les droites



Variation, en fonction de l'amplitude planétaire A_p , de l'amplitude de la variation journalière de l'activité J pour l'été et l'hiver (j et d) à Godhavn et à Thulé.

Figure 33



Variation, en fonction de l'amplitude planétaire A_p , du fond continu de l'activité pour l'été et l'hiver (j et d) à Godhavn et à Thulé.

Figure 34

* Il est évident que l'utilisation de $a_{\min}$ dans $a_{\max} - a_{\min}$ accroît le phénomène d'inversion que nous cherchons ici à mettre en relief. On peut voir cependant que, spécialement pour Collee, la différence à l'unité des rapports est beaucoup plus grande pour $a_{\max} - a_{\min}$ que pour $a_{\min}$, ce qui montre bien que le $a_{\max}$ est effectivement plus grand lui aussi en hiver. Ainsi les rapports, équivalents à ceux du tableau précédent et obtenus pour $a_{\max}$ seul, seraient respectivement de 1,20, 1,16 et 1,04 aux 3 stations. Il reste que nous pensons, comme nous le verrons au chapitre VIII, que la quantité $a_{\max} - a_{\min}$ est plus significative que la quantité $a_{\max}$; c'est la raison pour laquelle nous n'utilisons pas cette dernière ici.

tracées au travers des points ont une pente différente. Par contre, à Godhavn, les valeurs d'hiver restent pratiquement constantes, quelle que soit la valeur de A_p ; à Thulé, une variation existe, quoique faible. Le phénomène est-il réel ? Si nous regardons la figure 34, qui représente, en fonction de A_p , les valeurs saisonnières de $a_{\min}$ aux deux stations pour l'hiver et l'été, nous constatons qu'à Godhavn les deux saisons sont mélangées, mais qu'elles sont séparées à Thulé. Ceci montre que le $a_{\min}$ de Thulé est entièrement dû à l'activité J puisque sa variation saisonnière est du type de celle de l'activité J, tandis qu'à Godhavn la variation du $a_{\min}$ subit l'influence de l'activité N puisque sa variation saisonnière est semblable à celle de l'activité N ; nous comprenons donc pourquoi les valeurs d'hiver des $a_{\max} - a_{\min}$ sont constantes à Godhavn : si l'intensité du maximum de l'activité J croît avec A_p , une croissance pratiquement égale du minimum et due à l'activité N empêche la croissance de la différence entre ces deux quantités. Ce phénomène de la constance de $a_{\max} - a_{\min}$ à Godhavn n'est donc qu'apparent ; et la différence des pentes des droites de la figure 33, à peu près semblable aux deux stations, nous confirme bien que la variation saisonnière de l'activité J est du même type à Godhavn et à Thulé.

Nous pouvons donc considérer que le problème laissé en suspens au paragraphe 1. 2. est maintenant résolu. Pour définir numériquement la variation saisonnière de l'intensité du niveau moyen de l'activité J, nous donnerons les équations des droites tracées pour Thulé sur la figure 29 soit :

$$\begin{array}{ll} \text{hiver} & A_d = 2.7 A_p + 23 \\ \text{été} & A_j = 7.7 A_p + 42 \end{array}$$

Elles nous permettront de tenter un rattachement à l'hémisphère Nord des observatoires du type J pur de l'hémisphère Sud, en évaluant aux environs de 3 le rapport des intensités A du niveau moyen d'activité entre l'été et l'hiver.

6.3. - Rattachement des observatoires non homogènes dans le temps

Nous essayerons maintenant de comparer les amplitudes A des observatoires qui ne sont pas homogènes, dans le temps, à l'ensemble précédent. Le rattachement de Port-Martin, Heard et Macquarie sera facile puisqu'ils s'intègrent presque dans la série 1940-1952 étudiée ci-dessus. Celui des observatoires dont les enregistrements courent de 1902 à 1913 sera plus délicat puisqu'ils se placent à des époques d'activité solaire minimum spécialement faible, beaucoup plus faible en particulier que les époques analogues de la II^{ème} A. P. I. ou de 1944.

6.3.1. - Port-Martin, Heard et Macquarie. — Les valeurs respectives de A à Port-Martin et Thulé ou Godhavn d'une part, de A_p d'autre part pour les périodes correspondantes (e et d à Port-Martin ne comportent que 3 mois) sont :

	j	e	d	y	I'	I
Port-Martin	95.7	137.4	204.3	145.8	-86°4	-82°7
A_p	19.8	30.0	19.2	23.0	-	-
Thulé	173.8	118.7	82.4	125.0	+87°0	+89°0
Godhavn	223.5	217.3	170.6	203.8	+83°0	+84°9
A_p	19.8	27.4	20.8	22.7	-	-

Bien que la variation saisonnière soit inversée, les valeurs équivalentes de A_p pour j et d permettent de comparer les valeurs annuelles A_y ; celle de Port-Martin est beaucoup plus proche de Thulé que de Godhavn ; ceci confirme, du point de vue intensité d'activité, l'intérêt de l'utilisation du champ en altitude plutôt que du champ géomagnétique*. De même, on remarquera que les rapports A_j/A_d (ou A_d/A_j) sont de l'ordre de 2 à Port-Martin et Thulé, tandis qu'à Godhavn il n'est que de 1.3. De ce point de vue, l'accord est donc excellent entre les deux hémisphères : l'importance de la variation saisonnière de l'activité J y est semblable pour les stations très à l'intérieur de la zone aurorale.

* Au chapitre III. 4. 1., nous n'avions parlé, à ce sujet, que de la forme de la variation journalière de l'activité, non de son intensité.

Un rattachement direct de Heard et Macquarie à l'hémisphère Nord n'est pas possible puisque la période étudiée, pour les observatoires qui leur sont comparables en inclinaison, s'arrête en février 1952. Cependant, comme les valeurs de A_p pour 1952-1953 appartiennent à l'intervalle de variation de A_p pour la période 1940-1952, la comparaison reste possible. Le tableau suivant donne les valeurs annuelles de A pour Heard et Macquarie (trois mois seulement d'équinoxe à cette station), les valeurs de A_p correspondantes, et enfin les valeurs théoriques d'amplitude pour Sitka et College selon les équations obtenues au premier paragraphe pour les amplitudes annuelles.

	A_y	I'
Heard	92.1	-74°3
Sitka	86	+74°4
A_p	20.0	-
Macquarie	149.9	-77°7
College	215	+77°5
A_p	19.3	-

Dans le cas de Heard, la valeur de A_y est tout à fait du même ordre que la valeur théorique de Sitka. Dans le cas de Macquarie, la valeur théorique de College est très fortement supérieure; ainsi le A_y de Macquarie correspondrait à un A_p théorique de 12.8 à College au lieu de 19.3. Faut-il attribuer ceci à un effet d'induction qui défavoriserait Macquarie? Nous noterons seulement que l'erreur possible sur la valeur théorique de College est, pour $A_p = 19.3$, d'une vingtaine de gammas; d'autre part, selon la figure 27, certains points expérimentaux de College ont un écart de 30 gammas à la droite.

6.3.2. - Documents antérieurs à 1930. — Pour tenter le rattachement des stations de la période 1902-1913, nous avons cherché à nous servir des mesures des indices K faites sur les enregistrements de Niemegk pour la période correspondante (23). Malheureusement, comme il a été indiqué ci-dessus, les valeurs moyennes de A ainsi obtenues sont très faibles. Sur dix-neuf valeurs saisonnières de 1902-1905 et 1911-1913, cinq seulement ne sont pas inférieures à la valeur la plus faible de l'intervalle de variation des valeurs obtenues pour Niemegk pendant la période 1940-1952 et 1932-1933. Les moyennes des valeurs saisonnières pour les deux périodes 1902-1905 et 1911-1913 sont respectivement de 13.8 et 14.4, alors que la valeur annuelle la plus faible de Niemegk obtenue dans l'étude précédente était de 21.0. Si nous utilisons l'équation théorique de Niemegk établie au premier paragraphe, pour en déduire des valeurs saisonnières de A_p pendant les périodes 1902-1905 et 1911-1913, certaines d'entre elles deviendraient négatives; ceci montre bien que cette équation n'est pas valable en dehors de l'intervalle d'abscisses des points expérimentaux qui ont servi à l'obtenir.

Ceci nous donne cependant un renseignement précieux sur la très faible activité magnétique de ces périodes; d'autre part, les valeurs saisonnières A obtenues pour Niemegk restent comparables entre elles, et nous permettront de mieux évaluer la variation saisonnière des stations étudiées, ou le rattachement entre elles de ces stations.

Le tableau suivant donne pour les diverses stations les valeurs saisonnières de A et une valeur annuelle obtenue en donnant un poids égal à chaque saison. La valeur correspondante de A à Niemegk est précisée en chaque cas, et celle de I' pour chaque observatoire.

Station	j	e	d		y	I'
Ga (1902-1903)	69.8	84.2	109.0		87.7	-82°0
Ni	9.3	9.1	8.8		9.1	
	j	e	d	e	j	y
Ev (1902-1903)	98.9	65.4	126.4	91.1	76.6	89.0 -85°0
Ni	9.3	9.1	8.8	19.0	14.5	12.1

Station.	d	e	j	d	e	y	I'
Gj (1903-1905)	66.9	68.3	91.7	55.9	94.3	76.8	+84°6
Ni	17.5	13.7	13.6	15.3	17.4	15.0	
	j	e	d	e	j	y	
Ev (1911-1912)	57.9	77.1	85.2	45.8	37.4	64.8	-85°0
Ni	19.5	22.3	12.8	12.6	12.9	15.5	
	j	e	d	j		y	
De (1912-1913)	49.3	51.6	74.7	25.6		54.6	-86°4
Ni	12.9	12.8	11.8	10.9		12.2	

Sont simultanés dans le temps, j, e, d de Gauss Land et les trois premiers j, e, d de Cap Evans 1902-1903; le dernier j de Cap Evans 1911-1912 et le premier j de Cap Denison.

Le A_y de Gauss Land est égal à la moitié de la valeur obtenue pour la région correspondante d'inclinaison pendant la II^{ème} A. P. I., comme celle de Niemegk. La valeur annuelle de Cap Evans 1902-1903 est relativement forte, comparée à la valeur théorique $A_y = 87$ de Thulé pour un $A_p = 10$, c'est-à-dire un $A = 22$ à Niemegk, mais la valeur de 1911-1912 est tout à fait du même ordre. Celle de Cap Denison est comparable à la valeur précédente de Thulé et confirme, comme Port-Martin, l'intérêt du champ en altitude ($I = 82^\circ 7'$ à Cap Denison). Gjoähavn se rapproche plus de Thulé que de Godhavn.

Du point de vue variation saisonnière, toutes les stations autres que Gauss Land ont un rapport d'amplitude A_d/A_j ou A_j/A_d de l'ordre de 2, comme à Thulé, si l'on tient compte des valeurs respectives de A à Niemegk; en particulier la différence entre les rapports d/j à Gauss Land et Cap Evans pour les saisons d'enregistrement simultané, respectivement 1.6 et 3.2, montre bien que dans l'hémisphère Sud comme dans l'hémisphère Nord, quand on s'écarte de la zone aurorale pour se rapprocher du pôle, la part d'activité due au type N devenant de plus en plus faible, l'effet de variation saisonnière caractérisant le type J augmente.

6.4. - Conclusions générales

Ayant terminé maintenant l'étude expérimentale des données d'activité dont nous disposons, il faut essayer de résumer l'essentiel des propriétés obtenues. Nous énumérerons celles-ci successivement pour les deux types d'activité.

6.4.1. - Propriétés de l'activité N. — La propriété dominante de l'activité N nous semble être, plutôt que la variation en latitude de l'intensité de son niveau moyen, la variation en latitude de la forme de la variation journalière de son intensité, telle qu'elle est obtenue pour tous les jours. Celle-ci comporte deux aspects.

Premièrement, son maximum nocturne présente un retard maximum vers 77° d'inclinaison; ce retard est effectif surtout entre 72° et 81° d'inclinaison; l'heure magnétique ne semble significative qu'au-dessus de 72° d'inclinaison (chapitre IV et figure 20).

Deuxièmement, la variation en latitude de l'intensité de son niveau minimum est différente de la variation en latitude de l'amplitude de sa variation journalière; le maximum d'intensité du premier, de même que le début de la variation rapide de cette intensité (début compté à partir des inclinaisons inférieures), sont décalés de 3 à 4° d'inclinaison vers le Nord par rapport à ceux de la seconde (fig. 32); le maximum de la seconde est à peu près centré sur la région du plus grand retard de l'heure du maximum nocturne.

Nous plaçant maintenant au point de vue variation dans le temps des propriétés de l'activité N, nous en distinguons deux types : une variation saisonnière et une variation en fonction de l'activité solaire.

Premièrement, il n'existe pas de variation saisonnière pour l'heure du maximum nocturne; pour l'intensité de son niveau moyen, il n'existe que celle bien connue qui avantage l'équinoxe par rapport aux deux autres saisons (hiver, été) équivalentes en moyenne. Par contre, l'intensité du

niveau minimum de l'activité varie en sens inverse de l'amplitude de sa variation journalière quand on compare hiver et été (chapitre VI. 2. 1.).

Deuxièmement, l'élargissement de la zone aurorale, en période de grande activité solaire, est bien mis en relief par la comparaison de l'intensité du niveau moyen de l'activité pendant les jours calmes et les jours perturbés (chapitre VI. 1. 1.); l'existence de cet élargissement est également reconnue pour le niveau maximum de l'activité et l'amplitude de la variation journalière, le même décalage que ci-dessus étant conservé entre ces deux quantités; enfin, la région qui est la plus sensible, selon l'intensité du niveau moyen, à un changement très grand dans les conditions d'activité solaire est à peu près la même que celle où se produit le plus grand retard de l'heure du maximum nocturne (fig. 31).

6.4.2. - Propriétés de l'activité J et différences d'avec l'activité N . — Mises à part les propriétés morphologiques de l'activité J* telles qu'elles ont été décrites au début de l'Introduction, la propriété dominante de cette activité semble être la variation saisonnière du niveau moyen de son intensité qui décroît de l'été à l'hiver; l'activité J s'écarte donc sur ce premier point de l'activité N .

L'aire d'expansion de l'activité J s'étend jusqu'aux latitudes moyennes, mais elle n'apparaît avec une intensité suffisante pour changer le niveau moyen de l'intensité de l'activité - et, par conséquent, pour influencer sa variation saisonnière - qu'à l'intérieur de l'isocline de 81° (fig. 28). Son maximum d'intensité, qui se produit aux environs du midi magnétique local vers 85° d'inclinaison, se déplace ensuite rapidement vers des heures matinales quand on descend en latitude (vers 6 heures du matin à 81° d'inclinaison); sur le bord extérieur de la zone aurorale (74 à 75°) où il réapparaît, il se produit vers 15 ou 16 heures; enfin, aux latitudes moyennes, il a lieu entre 13 et 15 heures. Tant du point de vue localisation (c'est-à-dire région de plus grande intensité) que du point de vue variation de la phase en latitude, cette activité J est donc différente de l'activité N .

Une troisième différence sépare ces deux types d'activité : la variation de l'intensité de l'activité J en fonction de l'activité solaire n'est pas la même que celle de l'activité N . Ce résultat, qui est déjà apparent à partir de l'étude de l'intensité du niveau moyen de l'activité pour tous les jours (chapitre VI. 1. 1.), apparaît encore mieux par la comparaison des jours perturbés et des jours calmes, et ceci de deux façons : soit par l'étude de la variation en latitude du rapport de l'intensité du niveau moyen des jours perturbés sur celle des jours calmes (fig. 31),

* Nous avons eu l'occasion (1) d'étudier la répartition des fréquences des heures d'arrivée des maximum et minimum absolus quotidiens des différentes composantes du champ magnétique, à un certain nombre de stations antarctiques et arctiques. Aux stations qui ne sont pas situées à l'intérieur de la zone aurorale, les maxima de la courbe de fréquence des maximum ou minimum absolus quotidiens se produisent à l'heure des maximum ou minimum de la variation journalière moyenne. Mais, aux stations intérieures à la zone aurorale, un maximum secondaire de la courbe de fréquence des maxima absolus quotidiens apparaît à l'heure du minimum de la variation journalière, maximum qui présente en intensité une variation saisonnière décroissante de l'été à l'hiver, semblable à celle de l'activité du type J . Cette propriété singulière s'explique par le fait que, malgré la valeur moyenne minimum des composantes, les oscillations de courte période et de grande amplitude qui sont dues à l'activité de type J provoquent fréquemment un maximum absolu quotidien, sans influencer sur la valeur moyenne des composantes qui reste minimum. Cette propriété traduit assez bien l'importance de ces oscillations incessantes du champ magnétique.

soit par la comparaison des intensités du niveau moyen de l'activité J aux différentes saisons pour les jours calmes et les jours perturbés (chapitre VI. 2. 2.) *.

Ces conclusions, relatives à l'activité J, nous semblent être autant de réponses d'ordre expérimental à la question que nous posions dans l'Introduction, à savoir : l'agitation de jour (J) est-elle un phénomène différent de l'agitation de nuit (N) ? Il nous restera maintenant à déterminer si ces deux agitations ont la même cause; en ce cas, il serait nécessaire que les différences des milieux récepteurs expliquent les différences des propriétés. Sinon, nous devons leur attribuer des causes différentes.

* Nous pensons devoir mentionner ici un fait expérimental faisant appel à une autre technique de mesures, mais qui nous semble intéressant. En regardant les enregistrements ionosphériques de Port-Martin (24), il arrive souvent qu'aux heures du maximum d'intensité de l'activité J à cette station, on observe une disparition complète des échos. Cette disparition est tout à fait semblable à celle qui serait provoquée par une forte absorption. D'autre part, ce phénomène était certainement beaucoup plus fréquent et important en été qu'en hiver. Sans qu'il soit possible actuellement d'affirmer qu'il existe une corrélation certaine entre ce phénomène ionosphérique et l'activité magnétique J, il est bien difficile de ne pas les rapprocher.

DEUXIÈME PARTIE

ACTIVITÉ MAGNÉTIQUE ET THÉORIE DES ORAGES

Chapitre VII

ESSAI D'INTERPRÉTATION DE L'ACTIVITÉ J

Avant de chercher à interpréter les résultats expérimentaux obtenus précédemment, il est important de souligner de nouveau que toute analyse de l'agitation magnétique, faite par l'intermédiaire des caractères d'activité, ne saisit qu'un aspect partiel des variations rapides irrégulières du champ magnétique. En effet, comme nous l'avons rappelé, les caractères ou indices d'activité ont été créés en vue d'obtenir des renseignements numériques sur l'amplitude et la rapidité des variations irrégulières; de la nécessité de choisir un intervalle de temps constant, ni trop grand ni trop petit, pour la définition de chaque caractère ou indice, il résulte qu'aucune de ces deux quantités n'est bien caractérisée; en particulier, nous avons remarqué qu'activité N et activité J ne correspondent pas de la même manière aux indices K ou aux amplitudes a, puisque la rapidité des agitations correspondantes est différente. En conséquence, il sera indispensable, au cours de l'interprétation des données d'activité, de se référer sans cesse aux caractères morphologiques des enregistrements.

Etudiant dans ce chapitre l'activité J, notre première tentative consistera à examiner les conclusions théoriques de J.M. Stagg et A.P. Nikolsky pour déterminer si elles peuvent être retenues, ou s'il ne convient pas, à la lumière des documents supplémentaires que nous utilisons et des théories récentes, de chercher une nouvelle interprétation.

7.1. - Interprétations antérieures de l'activité J

7.1.1. - Interprétation de J. M. Stagg. — L'interprétation de J.M. Stagg (3) repose essentiellement, semble-t-il, sur les bases suivantes. Premièrement, il remarque l'existence d'un maximum diurne de l'activité seulement à l'intérieur de la zone aurorale ($\phi > 70^\circ$); le maximum nocturne, qui est unique en dessous de 70° , se produit encore dans une zone dite de transition, comprise entre 70° et 80° . Dans cette même région de transition, J. M. Stagg n'avait décelé aucune variation de phase du maximum diurne (la raison en est qu'il ne disposait dans cette zone que d'une seule station: Godhavn). Deuxièmement, J. M. Stagg souligne l'opposition entre les variations saisonnières de l'activité diurne qui décroît en intensité de l'été à l'hiver et du maximum nocturne qui est le plus grand à l'équinoxe.

Ne connaissant ni l'existence de l'activité J en-dessous de $\Phi = 70^\circ$, ni le déplacement rapide de l'heure de son maximum diurne dans la région de transition, J. M. Stagg est naturellement conduit à associer le changement de phase de 12 heures de l'activité et le changement de la variation saisonnière de son intensité entre la région $\Phi > 80^\circ$ et la région $\Phi < 70^\circ$, et à en attribuer la cause à ce qui distingue le plus au premier abord les deux régions. Il précise ainsi cette différence (3, p.310) :

"Since the latitude of the magnetic axis pole is itself $78^\circ 5'$ relative to the rotation axis pole of the earth, this region is the only part of the earth's surface which is continually in sunlight during the summer months. In winter it is the only part continually turned away from direct sunlight. In the equinoctial months the whole zone is exposed to the sun at noon and turned away at midnight. In these respects it is the only all-or-none region of the earth's surface. There is therefore a strong temptation to connect the remarkable phenomena of the magnetic disturbance field outlined in this paper with this unique feature (as regards the incidence of direct solar radiation) of the area lying immediately around the axis pole, and to interpret the phenomena in terms of changes in conductivity in the responsible layer of the ionosphere consequent upon the seasonal shift in the areas wholly or partially exposed to the sun".

Selon J. M. Stagg, on pourrait donc concevoir que les courants intenses qui circulent sur la zone aurorale se fermentaient mieux à l'intérieur de la zone aurorale en été qu'en hiver.

La première critique qui peut être faite à une telle interprétation est qu'elle ne rend compte ni de l'activité J à l'extérieur de la zone aurorale, ni de son intensité relativement grande par situation magnétique relativement calme. Nous ajouterons trois autres remarques qui nous semblent importantes.

1 - Il semble que la fermeture des courants sur l'intérieur de la zone aurorale ne peut pas rendre compte de l'inversion des phases entre les maxima des activités respectivement nocturne et diurne, en dessous de $\Phi = 70^\circ$ et en dessus de $\Phi = 80^\circ$. Il faut d'abord remarquer, à ce sujet, que la tendance à un maximum nocturne existe en hiver même au-dessus de 80° , bien que l'onde d'activité J y soit souvent assez intense pour noyer toute onde d'activité N. Ce dernier cas est celui de Thulé, pour les six hivers étudiés; la différence entre les amplitudes a du maximum de l'onde J et du minimum n'y est cependant que d'une trentaine de gammas sous un fond continu de 45 gammas. Mais à Port-Martin, le maximum nocturne existe, bien que très faible; sur les amplitudes a d'hiver, les différences entre les amplitudes des maxima et du minimum sont de 20 gammas seulement la nuit, contre 70 gammas le jour (le niveau moyen étant égal à 96 gammas). La cause de ce maximum de nuit doit être évidemment attribuée aux baies nocturnes dont nous avons parlé dans l'Introduction, quand nous décrivions l'aspect des enregistrements de Port-Martin (voir aussi, dans (1, p. 160sq) la liste provisoire établie pour ces baies). La forme très régulière de certaines d'entre elles fait nécessairement supposer qu'il s'agit bien alors d'une fermeture de courants, au même titre que pour l'extérieur de la zone aurorale; et, dans le cas où des oscillations se superposent à cette forme régulière, on peut penser que le phénomène "primaire", situé en général sur la zone aurorale et responsable de ces perturbations en baies, se situe beaucoup plus près de la station.

Mais par contre, il serait illusoire de rechercher la cause du maximum de jour des latitudes supérieures à 80° (maximum marqué par une si grande variation de l'intensité de l'activité sur les courbes d'amplitudes absolues tri-horaires), dans la fermeture de courants provenant de la région opposée (pour expliquer le changement de phase) de la zone aurorale. En ce cas, en effet, il serait nécessaire pour rendre compte de l'acuité du maximum que cette fermeture se produisît presque sans aucune "diffusion". Peut-être, à la rigueur, pourrait-on l'attribuer à la fermeture des courants du second dipôle électrique situé sur la partie éclairée de la terre, et associé généralement, comme l'ont montré H. C. Silsbee et E. H. Vestine (25), au dipôle beaucoup plus intense situé sur la partie nocturne. Mais alors, pourquoi la fermeture à l'extérieur de la zone aurorale des courants créés par ce dipôle plus faible * ne serait-elle pas

* Ce dernier dipôle est d'ailleurs déduit de l'existence des baies diurnes dont le sens de variation est opposé à celui des baies nocturnes.

traduite par un maximum de jour sur les courbes d'activité de l'extérieur de la zone aurorale ? Ce maximum n'aurait alors aucune raison d'avoir, en intensité, une variation saisonnière différente du maximum nocturne, puisque la variation saisonnière des conditions de conductibilité de l'intérieur de la zone aurorale n'interviendrait pas. Or un tel maximum n'apparaît aucunement aux latitudes moyennes; et ceci est compréhensible puisque les baies nocturnes sont beaucoup plus nombreuses que les baies diurnes. Seul un maximum secondaire y apparaît, maximum très faible dont la variation saisonnière en intensité est du type de celui de l'intérieur de la zone aurorale. Dans ces conditions, il est difficile d'attribuer à une cause "primaire", située sur la zone aurorale, un phénomène dont l'intensité, très grande vers 80° de latitude, décroît rapidement et régulièrement quand on descend en latitude alors qu'il devrait être, selon cette interprétation, à peu près symétrique de part et d'autre de la zone aurorale.

- 2 - Un autre fait, infirmant l'hypothèse de J. M. Stagg, nous semble beaucoup plus significatif. Nous avons déjà longuement insisté sur l'aspect morphologique que présentent les enregistrements de Port-Martin à l'heure du maximum de l'activité J (fig.1). Nous avons retrouvé cet aspect sur tous les enregistrements des stations dont l'inclinaison en altitude est semblable, et sur lesquels nous avons mesuré les indices K : Thulé, Cap Evans, Cap Denison. Or ce caractère d'agitation brutale et incessante nous semble essentiel, et il diffère entièrement du type de perturbations classiques "en baies", auxquelles la variation journalière de l'activité N peut être attribuée (cf. chapitre VIII. 1.). Dans ces conditions, il est difficile de concevoir comment le phénomène "secondaire", qu'est la fermeture, à l'intérieur de la zone aurorale, des courants intenses (phénomène primaire) circulant sur la zone aurorale, peut provoquer une telle agitation.
- 3 - Enfin, si nous nous plaçons au point de vue de la forme de la variation journalière de l'activité pour les stations de l'intérieur de la zone aurorale, nous constatons que le facteur "magnétique" joue infiniment plus que le facteur "géographique"; ce dernier devrait jouer, cependant, dans le cas où l'interprétation de J. M. Stagg serait exacte. Par exemple, Thulé et Port-Martin qui diffèrent de 10° en latitude géographique sont tout à fait comparables, du point de vue de la forme de la variation journalière, par l'existence de la seule onde J sur les courbes de variation journalière des amplitudes moyennes annuelles. Au contraire, Godhavn, dont la latitude géographique est supérieure de 2°5 à celle de Port-Martin, présente de manière apparente les deux ondes N et J. Ces ressemblances ou différences s'expliquent par les inclinaisons magnétiques respectives de ces stations. Autre comparaison beaucoup plus significative encore : deux stations telles que Chesterfield et Calm Bay, qui ont une inclinaison magnétique équivalente et la même forme de variation journalière (superposition des deux ondes d'activité N et J), ont des latitudes géographiques respectives de 63°3 et 80°3. On pourrait s'attendre, selon le schéma de J. M. Stagg, à ce que l'activité J soit la plus forte à Calm Bay. Il n'en est rien, puisque l'amplitude de l'onde J par rapport au fond continu est de 50 gammas à Calm Bay, et de 80 gammas à Chesterfield*. Nous aurons d'ailleurs à expliquer pourquoi, au contraire, l'activité J est en fait la plus forte à Chesterfield.

Nous sommes donc conduits à renoncer à l'interprétation de J. M. Stagg, selon laquelle les deux types d'activité N et J étaient la conséquence d'un seul et même phénomène "primaire", à savoir les courants intenses circulant sur la zone aurorale.

7.1.2. - Interprétation de A. P. Nikolsky. — A. P. Nikolsky, dans ses études sur l'activité magnétique (4), n'avait pas retrouvé les mêmes résultats expérimentaux que J. M. Stagg. Il avait montré, d'une part, l'existence de l'activité J sur le bord extérieur de la zone aurorale, et non pas seulement à l'intérieur. Et d'autre part, il était conduit à penser que l'heure de son maximum était contrôlée non par le temps local, mais par le temps universel; ce "contrôle" était d'ailleurs différent dans ce qu'il dénommait les hémisphères oriental et occidental (cf. Introduction).

Conscient qu'il faut assigner des causes différentes aux deux activités N et J, A. P. Nikolsky a pensé qu'elles étaient provoquées par des facteurs différents du rayonnement corpusculaire solaire,

* Cette comparaison d'intensités porte, naturellement, sur une période d'enregistrements simultanés.

et plus particulièrement, peut-être par des corpuscules de signe contraire. Cependant, il ne semble pas avancer de raison pour expliquer les différences de comportement de l'activité J, entre les deux hémisphères oriental et occidental.

Nos résultats diffèrent sensiblement des siens, puisque nous trouvons que la loi de variation de la phase de l'activité J semble bien ne pas être "contrôlée" par le temps universel, mais par le temps magnétique local. Aussi, alors que nous nous sommes attachés assez longuement à discuter l'hypothèse de J. M. Stagg qui, au premier abord, semble la plus naturelle, nous ne chercherons pas à analyser plus longuement l'hypothèse de A. P. Nikolsky; et nous exposerons les éléments principaux de l'une des théories des orages magnétiques. Nous pensons en effet pouvoir en déduire une explication possible des propriétés de l'activité J, telles que nous les avons obtenues dans cette étude.

7.2. - La théorie de Chapman-Ferraro

Depuis que A. Schuster a montré que des faisceaux de corpuscules d'un même signe seraient dispersés par répulsion électrostatique bien avant leur arrivée sur la terre (ceci, pour les vitesses de l'ordre de 1000 km/sec, qui sont les plus vraisemblables étant donné l'écart de temps entre phénomènes solaires et phénomènes magnétiques), on en est venu à admettre l'existence de faisceaux dits "neutres", c'est-à-dire composés de charges positives et négatives en quantité égale.

Etudiant les conditions d'approche, dans le champ magnétique de la terre, de tels faisceaux, S. Chapman et V. C. A. Ferraro ont montré (26) qu'au cours de la majeure partie du trajet soleil-terre, les ions et les électrons avancent presque linéairement, sans spiraler, ni subir de déviation. En effet, les effets d'induction créés dans le front du faisceau par le champ magnétique terrestre tendent à protéger l'intérieur du faisceau de tout changement magnétique, c'est-à-dire à y annuler le champ terrestre. L'énergie électrique des courants induits est tirée de l'énergie cinétique des charges qui sont légèrement ralenties. Dès que le faisceau arrive suffisamment près de la terre pour que le gradient de variation du champ magnétique devienne important, le ralentissement n'est pas le même en tous les points du plan auquel est encore assimilable, à ce stade, le front du faisceau; celui-ci se déforme en une surface concave au droit de la terre : S. Chapman et V. C. A. Ferraro l'ont appelée "hollow" ou "creux". Pour illustrer les conséquences magnétiques observables d'un tel processus, ces auteurs remarquent que la masse ionisée du faisceau peut être assimilée à un conducteur électrique, et comparent l'interaction du champ magnétique terrestre et du faisceau à celle d'un aimant en mouvement devant un conducteur : des courants électriques sont induits dans la surface du conducteur, en sorte que l'intérieur de ce conducteur est protégé contre tout changement magnétique; au cas où le conducteur n'est pas rigide, et il en est ainsi pour la masse ionisée du faisceau, l'interaction entre aimant et conducteur provoque une déformation de ce dernier.

Plus précisément, si nous considérons le moment où le faisceau est encore assez loin de la terre pour ne pas être déformé, et où sa surface est encore assimilable à un plan, l'effet magnétique, à l'extérieur du faisceau, des courants électriques induits dans sa surface et tels qu'ils annulent le champ terrestre à l'intérieur du faisceau est équivalent à l'effet d'un dipôle qui est l'image, dans cette surface, du dipôle terrestre. De la superposition à l'extérieur du faisceau des champs du dipôle terrestre et de son image, il résulte une augmentation générale du champ terrestre, ou encore une "compression" de ses lignes de force : cet effet rend compte de la première phase des orages magnétiques, pendant laquelle une augmentation générale du champ est observée. A partir de ce schéma, S. Chapman et V. C. A. Ferraro ont essayé de déterminer analytiquement :

- 1 - la vitesse avec laquelle le faisceau approcherait de la terre;
- 2 - la distance à laquelle le sommet du "creux" serait stoppé;
- 3 - dans quelle mesure il serait ainsi possible de rendre compte quantitativement de l'amplitude et de la durée de la première phase des orages.

Dans leur première tentative (26), la difficulté rencontrée était relative non tant à la courbure prise par le front du faisceau en approchant de la terre, qu'au fait de son imparfaite conductibilité. En fait, dans deux articles postérieurs (27, 28), ces auteurs ont montré que, cette difficulté étant illusoire, leur description quantitative était correcte.

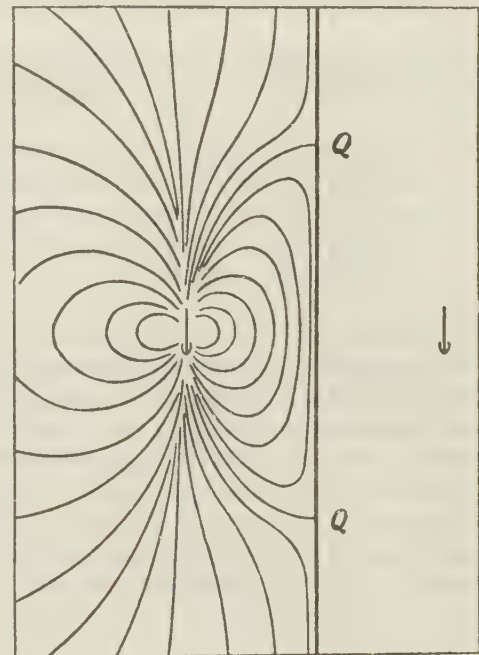
A propos du temps pendant lequel persistent dans le front du faisceau les courants induits, et donc la première phase de l'orage qui en est la conséquence, l'un d'eux écrit (28, p. 47) :

"Once the velocity of the front surface of the stream is reduced to zero, the magnetic disturbance will remain at its maximum value as long as fresh particles continue to arrive from the back of the stream to maintain the necessary current".

Puis, remarquant que, dès qu'il n'arrivera plus de particules fraîches sur le front du faisceau, celui-ci commencera à reculer, cet auteur se demande si ceci correspond au moment où la première phase a dépassé sa valeur maximum. Il pense en fait que cette décroissance correspondrait au début du mécanisme de la phase principale qui commencerait alors à se faire sentir, et que, par conséquent, le début observé de la décroissance de la première phase ne signifierait pas nécessairement le début de la décroissance des courants induits dans le front du faisceau.

Nous avons insisté sur ces derniers caractères de la théorie de Chapman-Ferraro, et spécialement sur la persistance des courants dans le front du faisceau, parce que, comme nous allons le voir, ils sont essentiels. Revenons en effet à la description imagée qui a été faite de la "compression" des lignes de force du champ terrestre. Pour la préciser, nous emprunterons à S. Chapman et V. C. A. Ferraro une figure représentant la superposition, au champ terrestre, du champ des courants induits dans le front du faisceau (fig. 35). Celle-ci, nous l'avons dit, revient encore à composer les champs du dipôle terrestre et de son dipôle-image dans le front du faisceau. Deux régions sont remarquables : celles où les lignes de force, au lieu d'être parallèles au front, ont tendance à rentrer dans le front; elles correspondent aux foyers de circulation des courants dans le plan conducteur, ou encore, d'un point de vue géométrique, aux points du front où les lignes de force du dipôle terrestre lui sont perpendiculaires. Il est nécessaire de mieux se rendre compte de l'aspect du champ auprès de ces points, car la figure peut faire illusion. Aux points Q, les composantes parallèles au front sont nulles, les composantes perpendiculaires égales et de signe contraire; le champ est donc nul en ces points. De part et d'autre, les composantes perpendiculaires sont encore égales et de signe contraire, mais les composantes parallèles ne sont plus nulles : elles sont égales et, étant de même signe, s'ajoutent. En tous les points du front, le champ est donc parallèle au front : de ce point de vue, les points Q sont des points singuliers. Et, à parler géométriquement, aucune ligne de force ne rentre perpendiculairement dans le plan; toutes viennent le tangenter, sauf celle qui aboutit au point Q avec un champ nul. Cependant, dans la région autour des points Q, la différence entre les composantes normales au plan croît plus vite que ne croît la somme des composantes parallèles au plan : les lignes de force approchent donc assez près du front en gardant une direction presque normale. C'est en ce sens qu'on peut dire que, autour des points Q, les lignes de force tendent à rentrer dans le front.

Ce schéma nous semble pouvoir donner la clef d'une interprétation possible de l'activité J. En effet, S. Chapman et V. C. A. Ferraro ont remarqué que, en ces deux régions Q, les corpuscules pourront continuer à avancer sans être retardés puisque le champ y est très faible, ou presque parallèle à leur vitesse; partout ailleurs, ils sont freinés ou stoppés par le champ qui est normal. Deux "horns", comme ces auteurs les appellent, ou "cornes" auraient donc tendance à se former à la hauteur des points Q; les corpuscules, s'enroulant sur les lignes de force correspondantes, trouveraient leur voie vers les régions polaires. S. Chapman, revenant sur la signification de ces cornes dans un article récent (29), où il passe en revue les "théories des aurores polaires", écrit :



Diagrammatic sketch of the combined field of the geomagnetic doublet and of the electric currents induced in the plane surface layers of the advancing neutral ionized stream, on the assumption that these currents completely shield the interior of the stream from the geomagnetic field; in this case the magnetic field of the induced current system is the same as that of the image (shown on the right) of the geomagnetic doublet, relative to the plane face of the stream. (d'après S. Chapman et V. C. A. Ferraro)

Figure 35

"I see no reason why the gas in the horns should gain speed and energy. Their interior will be shielded from the magnetic field by surface currents, and the gas will be retarded, though less than elsewhere. Hence the gas flowing on to the earth along these horns will not have the observed penetrating power of the auroral particles, and moreover will impinge on the sunlit side of the earth, and be unobservable. The horns do not seem likely to be significant for the theory of the aurora".

Si ces "cornes" ne sont pas significatives pour expliquer les aurores, cependant leur effet n'est peut-être pas "inobservable", en tant qu'elles seraient responsables de l'existence de l'activité J. Tout d'abord, la brutalité de l'agitation de jour, telle qu'elle peut être vue sur la reproduction des enregistrements de la figure 1, serait bien expliquée par une arrivée directe de corpuscules auxquels il n'est pas besoin de demander d'avoir l'énergie nécessaire pour atteindre le niveau auroral. D'autre part, pour rendre compte des différentes propriétés que nous avons obtenues pour l'activité J, nous pouvons faire les suggestions suivantes :

- 1 - La quasi-permanence de l'activité J, c'est-à-dire sa tendance à exister même en cas d'activité solaire faible, serait due à ce que le schéma précédent serait encore applicable pour des faisceaux trop pauvres en densité ionique pour provoquer un orage observable.
- 2 - La localisation de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale - c'est la seule région où elle apparaisse avec une grande intensité - proviendrait de ce que les points Q correspondent en général à des lignes de force atteignant la terre à l'intérieur de cette même zone.
- 3 - La variation saisonnière de l'intensité de l'activité J serait provoquée par la variation saisonnière de la déclinaison du soleil.
- 4 - L'heure du maximum de l'activité J, proche du midi local magnétique à l'intérieur de la zone aurorale, serait expliquée par l'arrivée directe sur la terre de corpuscules venant d'un plan qui contient l'axe soleil-terre; quant au déplacement de cette heure, vers des heures plus matinales, quand on descend en latitude, il serait dû à une toute autre cause que nous chercherons à mettre en relief.

Nous avons déjà souligné que ces cornes, auxquelles nous attribuons la cause de l'activité J, ne sont pas un phénomène passager. Elles n'existent pas seulement pendant l'approche du faisceau, laquelle dure un temps relativement bref*, mais, de même que les courants induits dans le front du faisceau durent au moins aussi longtemps que la durée de la première phase de l'orage**, de même les foyers de circulation de ces courants, et donc les régions Q de la figure 35, persistent pendant toute cette période. Par conséquent, la cause par laquelle nous cherchons à expliquer l'activité J, à savoir l'existence des cornes, est un phénomène qui n'est nullement transitoire, mais qui dure pratiquement pendant tout le temps où la terre est balayée par un faisceau. Nous essayerons maintenant de justifier, autant que possible, les quatre suggestions précédentes.

7.3. - La quasi-permanence de l'activité J

Pour résoudre ce premier problème de la quasi-permanence de l'activité J, il est nécessaire de préciser le schéma de Chapman-Ferraro par quelques valeurs numériques. La fiction du dipôle-image nous permet d'abord d'apprécier à quelle distance de la terre se trouve le front

* C'est-à-dire à partir du moment où, le ralentissement des charges commençant à devenir important sur la surface du front, ces cornes se forment à la hauteur des régions Q où le ralentissement est beaucoup plus faible, jusqu'au moment où le front est complètement stoppé.

** Nous disons "au moins aussi longtemps", en nous référant à la remarque faite précédemment, selon laquelle le début de la décroissance du champ pendant la première phase de l'orage n'est pas nécessairement significative de la décroissance des courants induits, mais le serait du début du mécanisme responsable de la phase principale.

du faisceau (ou le sommet du "creux") pour provoquer une augmentation ΔH en gammas du champ terrestre. En effet z étant cette distance en rayons terrestres et $H = 0,33$ gauss étant le champ à l'équateur, la valeur de z correspondant à ΔH sera donnée par

$$0,33/(2z)^3 = \Delta H \cdot 10^{-5} \quad (1)$$

Le tableau suivant donne pour différentes valeurs de ΔH les valeurs de z correspondantes :

ΔH	100	50	25	10	5	2	1	0,1
z	3,5	4,4	5,5	7,4	9,4	12,7	16,0	34,6

Comme S. Chapman et V. C. A. Ferraro le font remarquer, la déformation du front du faisceau rend un peu approximatifs ces calculs; s'il en était tenu compte, la valeur de z serait plus grande pour un ΔH donné. On peut voir cependant que, vu la très faible variation de z avec ΔH , les changements seraient très faibles.

D'autre part, une manière d'évaluer la distance de la terre à laquelle le front du faisceau est stoppé, va nous permettre d'obtenir des renseignements sur la densité ionique ou la vitesse des corpuscules du faisceau. En effet, selon D. F. Martyn (30), cette distance peut être obtenue en égalant l'énergie cinétique, par unité de volume, du faisceau à l'énergie magnétique du champ terrestre. Si N , m et u expriment le nombre par cm^3 , la masse et la vitesse des corpuscules, et $H = 0,33/z^3$, le champ magnétique terrestre à la distance z en rayons terrestres, nous avons :

$$\frac{1}{2} N m u^2 = H^2 / 8 \pi \quad (2)$$

Le tableau suivant donne, en fonction des ΔH précédents (c'est-à-dire des z correspondants), les valeurs de densité N_{1000} et N_{400} correspondant respectivement à des protons de 1000 km/sec et 400 km/sec.

ΔH	100	50	25	10	5	2	1	0,1
N_{1000}	280	70	18	2,8	1,0	0,12	0,031	0,00027
N_{400}	1750	440	110	18	6,3	0,77	0,23	0,0017

On pourrait se demander dans quelle mesure un tel calcul est justifié pour les densités relativement faibles que nous obtenons ici. En fait, V. C. A. Ferraro (28, p. 38) considère que le schéma d'approche du faisceau reste encore valable pour des densités aussi basses que 10^{-8} ion/ cm^3 ; cette limite serait celle en dessous de laquelle les ions et électrons, n'étant plus assez nombreux pour qu'une action électrostatique puisse être produite, se comporteraient suivant le schéma de C. Störmer.

Les deux tableaux précédents peuvent nous conduire aux remarques suivantes. Les orages qui ont une première phase observable (par exemple $\Delta H > 10$) correspondraient à des faisceaux qui s'approcheraient relativement assez près de la terre (distance inférieure à 7 rayons terrestres). Or, on sait que de tels orages sont relativement rares; bien que leur effet puisse se faire sentir pendant très longtemps (post-perturbation), ils ne peuvent rendre compte de la quasi-permanence de l'activité J , puisque celle-ci pourrait seulement être provoquée pendant la première phase.

Dans un travail récent (31), E. et O. Thellier ont montré que la première phase des orages à début progressif était inexistante, bien que leur phase principale soit analogue à celle des orages à début brusque. D'autre part, dans des travaux antérieurs, relatifs en particulier à la récurrence de 27 jours des orages (32, 33), où ces auteurs démontraient la non-récurrence des orages à début brusque et la récurrence très nette des orages à début progressif, ils concluaient :

"Cette différence (dans la propriété de récurrence) appelle l'attention des théoriciens sur la nécessité de considérer deux types de jets corpusculaires : ceux des éruptions, à front raide, et ceux des M-régions, à front flou, peut-être".

Dans ces conditions, étant donnée la faible densité ionique pour laquelle le schéma de Chapman-Ferraro est encore valable, n'est-il pas possible de considérer que les orages à début progressif seraient effectivement provoqués par des faisceaux dont la densité ionique ne serait pas suffisante

pour créer un ΔH observable (par exemple $\Delta H < 10$)*? Plus précisément, Kiepenheuer, étudiant le problème des émissions corpusculaires du soleil (34) et plus spécialement la nature des M-régions, montre qu'il est possible de situer dans la couronne des émissions protoniques telles que, au voisinage de la terre, leur densité serait de l'ordre de 0.05 à 4 protons/cm³, et leur vitesse de 400 km/sec; ces valeurs seraient acceptables, selon lui, pour rendre compte de la balance d'énergie d'un orage moyen (il donne comme exemple une amplitude de la phase principale égale à 50 gammas, et une durée de la perturbation égale à 10⁴ sec; la densité nécessaire serait alors de 0.7 cm³). Nous noterons que de telles valeurs de densité et de vitesse correspondent, selon le tableau précédent, à une amplitude de la première phase ΔH comprise entre 0.5 et 5 gammas, et qui, par conséquent, n'est pas observable.

Si de tels orages, bien que plus fréquents que les orages à début brusque**, ne sont pas encore suffisants pour expliquer l'existence de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale par période relativement calme magnétiquement, on peut cependant supposer qu'il existe des émissions corpusculaires solaires beaucoup plus fréquentes, bien que ioniquement moins denses que celles qui sont responsables de ces orages. Kiepenheuer (34) pense que de telles émissions en provenance de la couronne ne s'évanouissent jamais complètement. Aussi, sans qu'il soit nullement nécessaire de descendre en densité ionique jusqu'à la limite inférieure ($N=10^{-8}$) à partir de laquelle le schéma de Chapman-Ferraro ne serait plus valable, il est possible d'imaginer que la quasi-permanence de l'activité J, c'est-à-dire son existence dans le cas où le reste de la terre ne semble pas sous l'influence d'un orage observable, serait due à une émission corpusculaire pauvre, mais presque permanente.

7.4. - Localisation de l'activité J

Nous devons montrer maintenant pourquoi l'activité J ne se manifeste avec une grande intensité qu'à l'intérieur de la zone aurorale. Le paragraphe précédent ne nous a appris qu'un seul fait : l'existence fréquente de faisceaux corpusculaires dans le front desquels existent deux régions Q privilégiées. Alors que partout ailleurs les charges sont freinées ou stoppées, elles y rencontrent un champ qui est d'abord nul ou très faible; et, comme nous l'avons déjà remarqué, l'intensité de ce champ croît plus vite normalement au front du faisceau que parallèlement. Est-il possible de déterminer la forme exacte des cornes, c'est-à-dire la trajectoire des charges et, plus exactement, leurs points d'impact sur la terre, à supposer qu'elles y arrivent?

Il semble difficile de considérer qu'un mécanisme rigoureusement analogue à celui du schéma de Chapman-Ferraro puisse jouer dans les cornes; car, il était relatif au front d'un faisceau très étendu qui progressait dans un champ dont la direction était partout normale à la vitesse des corpuscules et dont le gradient de variation était relativement faible sur toute la surface du front. Ici, il s'agit de corpuscules qui partent de régions limitées en étendue et qui progressent dans un champ dont le gradient de variation est grand relativement à ces régions. Si nous considérons les charges comme isolées, leur rayon de giration dans un tel champ serait relativement petit puisqu'elles sont déjà près de la terre, et il le serait d'autant plus qu'elles abordent au départ les lignes de force sous un angle très petit. Par conséquent, alors que, dans le cas général du front progressant dans le champ magnétique de la terre, la séparation des charges pouvait être effective, et donner naissance à une polarisation du faisceau annulant l'effet électromagnétique dû au champ, il semble, dans le cas des cornes, que la séparation des charges sera très petite*** de même que le rayon de giration : celles-ci, au cours du temps très court qui leur est nécessaire pour décrire les lignes de force (temps qui est de l'ordre de la minute), s'y enrouleront en se comportant à peu près comme

* Nous remarquerons qu'une première phase très faible apparaît dans le cas des orages à début progressif les plus intenses (cf. (31)).

** Dans leur catalogue d'orages, E. et O. Thellier ont choisi 688 orages sur une période de 64 ans. Parmi ceux-ci, ils retiennent, après l'examen d'enregistrements provenant de plusieurs stations, seulement 210 orages à début nettement brusque, et 328 à début nettement progressif. On voit donc que les seconds ont tendance à être plus nombreux que les premiers.

*** Nous verrons plus loin (chapitre VII. 6. 1) que le drift en longitude de particules isolées, au cours du trajet le long d'une ligne de force, est très faible (de l'ordre de 1°).

des particules isolées. Nous pouvons donc considérer que nous aurons une approximation de la forme des cornes et que nous pourrions savoir si elles aboutissent ou non jusqu'à la terre, en étudiant les trajectoires des corpuscules partant des régions Q comme s'ils étaient isolés.

Au point de vue des conditions initiales, nous nous trouvons alors dans le cas d'une constante γ de Störmer inférieure à -1; on sait que c'est celui des trajectoires quasi-périodiques que C. Störmer a obtenues par intégration numérique (35). L'étude faite par H. Poincaré (36) du mouvement d'un corpuscule dans le champ d'une masse magnétique isolée peut éclairer ce problème difficile. En effet, C. Störmer, pour décrire la forme des espaces non-interdits (pour $\gamma < -1$) près de la terre, employait le terme "corne", parce que l'espace dans lequel les charges peuvent se mouvoir est semblable à un cône dont l'axe aurait été plus ou moins déformé ou courbé; or, dans le cas de la masse magnétique isolée, nous verrons que les trajectoires sont sur des cônes dont le sommet est confondu avec celle-ci.

Ecrivant les équations différentielles du mouvement d'une charge électrique dans le champ d'une masse magnétique isolée, H. Poincaré remarque* que

$$\frac{d}{dt^2} r^2 = \sum 2x x'' + \sum 2x'^2 = 2v^2 \quad (3)$$

puisque $\sum x x'' = 0$. (4)

On en déduit : $r^2 = v^2 t^2 + 2(\sum x_0 x'_0) t + r_0^2$ (5)

Cette dernière équation montre que, si la vitesse initiale n'est pas dirigée suivant une ligne de force, la charge arrivera jusqu'à une certaine distance r_m de la masse magnétique, pour s'en éloigner ensuite. Les charges approchent d'autant plus de la masse magnétique que la vitesse initiale fait un angle plus petit avec la ligne de force au point de départ. On remarquera de plus que, dans l'équation (5), ni la charge de la particule, ni sa masse, ni l'intensité du champ magnétique n'interviennent : la valeur minimum de r^2 est uniquement fonction de données géométriques telles que x_0 ou x'_0 . D'autre part, une série d'intégrales premières, par leur combinaison, montre que les trajectoires se trouvent sur des cônes de révolution, dont le sommet est confondu avec la masse magnétique; on en conclut que le flux magnétique embrassé par la trajectoire de la particule est un invariant pour des conditions initiales données.

Dans le cas du dipôle terrestre, nous utiliserons la méthode de H. Alfvén, dite "méthode de perturbation" (37, chapitres I et II). Celle-ci consiste à étudier le mouvement d'une particule dans un champ magnétique uniforme, des forces "perturbatrices" supplémentaires étant imposées; dans le cas particulier d'un champ non uniforme, la non-uniformité du champ est assimilée à ces forces perturbatrices. H. Alfvén montre que, dans un tel cas, le flux magnétique embrassé par la particule est un invariant; cette propriété va lui permettre de résoudre d'une manière assez simple le problème du mouvement des charges dans le champ magnétique de la terre.

Alors que C. Störmer obtenait par intégration numérique la trajectoire réelle de la charge, H. Alfvén atteint seulement par cette méthode la trajectoire de ce qu'il appelle l'aimant équivalent, c'est-à-dire l'aimant qui produirait un champ équivalent à celui qui est créé par la charge décrivant un grand nombre de tours. Les renseignements qui en découlent sont en général assez complets pour donner une idée de la trajectoire réelle, en particulier pour déterminer si la particule est susceptible ou non d'arriver sur la terre. Les limites d'application de la méthode sont strictement définies par la condition que la variation du champ reste petite dans l'espace balayé au cours d'une giration. Une condition équivalente est que le rayon de giration de la charge soit petit devant sa distance au dipôle; ceci est ordinairement réalisé en ce qui nous concerne, puisque nous considérons

* Les notations des formules 3 à 5 ont la signification suivante : le système de coordonnées rectangulaires ayant son origine sur la masse magnétique, r est le rayon vecteur tel que $r^2 = \sum x^2$; les indices 0 sont relatifs aux conditions initiales.

en général des corpuscules partant de points relativement proches de la terre en faisant un angle très faible avec les lignes de force. La première des trois équations différentielles qu'obtient H. Alfvén montre que le mouvement de l'aimant équivalent a lieu sur une surface de révolution engendrée par la ligne de force sur laquelle se trouvait l'aimant au départ : ceci peut être évidemment rattaché à la forme de la partie passant par l'origine des espaces non interdits de Störmer, pour $\gamma < -1$, lesquels sont en quelque sorte centrés sur une ligne de force fonction de γ .

D'autre part, la deuxième équation différentielle donne la vitesse $v_{//}$ de l'aimant équivalent le long de la ligne de force et peut être écrite :

$$v_{//} = \sqrt{2(W - W_{\perp})/m} \quad (6)$$

où W et $W_{\perp}$ sont les énergies cinétiques, l'une totale, l'autre dans un plan perpendiculaire à $v_{//}$, de la particule de masse m . W est une constante alors que $W_{\perp}$ est variable : on voit que la vitesse $v_{//}$ s'annulera quand $W_{\perp}$ devient égal à W . L'intérêt de cette équation est donc de montrer l'existence de ce que H. Alfvén appelle le "turning-point" : ce point définit, par rapport à la terre, la distance minimum à laquelle la charge arrivera. Nous retrouvons donc ici ce qui se produit dans le cas d'une masse magnétique isolée.

Il existe une relation simple entre l'énergie de la particule et le champ H où elle se trouve :

$$\mu = W_{\perp}/H \quad (7)$$

μ étant le moment magnétique de l'aimant équivalent. Comme μ est une constante du mouvement, au même titre que le flux embrassé par la particule, au turning-point on aura $H_0 = W/\mu$, et en un point quelconque $H = W_{\perp}/\mu$. Si nous nous donnons des conditions initiales telles que, α étant l'angle entre la vitesse initiale et la tangente à la ligne de force, on ait alors $v_{\perp} = v \sin \alpha$ et que H_1 soit la valeur du champ au point de départ, la valeur du champ au turning-point sera :

$$H_0 = H_1/\sin^2 \alpha \quad (8)$$

La valeur du champ le long d'une ligne de force étant définie par :

$$H = H_e \frac{\sqrt{1 + 3\sin^2 \varphi}}{\cos^6 \varphi} \quad (9)$$

où H_e est la valeur sur l'équateur magnétique et φ la latitude, la latitude φ_0 du turning-point sera donnée par l'équation :

$$\frac{\sqrt{1 + 3\sin^2 \varphi_0}}{\cos^6 \varphi_0} = \frac{\sqrt{1 + 3\sin^2 \varphi_1}}{\cos^6 \varphi_1 \sin^2 \alpha} \quad (10)$$

où φ_1 est la latitude au point de départ. On voit que, comme dans le cas d'une masse magnétique isolée, la solution est purement fonction de données géométriques.

Pour résumer cette discussion, nous remarquerons que deux conditions sont nécessaires pour qu'une particule arrive au sol, ou du moins dans la haute atmosphère à une latitude φ_s donnée. Il faut :

- 1 - que la particule commence au départ à s'enrouler sur la ligne de force qui atteint la terre en cette latitude φ_s ,
- 2 - que la latitude φ_0 du turning-point soit égale ou supérieure à φ_s .

Ces conclusions, strictement théoriques et relatives à des particules isolées, vont nous permettre de donner une solution approximative à la question de la localisation de l'activité J , c'est-à-dire pourquoi l'activité J n'apparaît sur les courbes de variation journalière des amplitudes moyennes annuelles qu'à l'intérieur des isoclines de 81° Nord et Sud. Remarquons que,

* Cette formule est directement déduite de l'équation des lignes de force $r = r_c \cos^2 \varphi$

traitant ici ce problème d'un point de vue annuel, nous prendrons, pour situer les régions Q par rapport à la terre, le cas d'un faisceau dont le front est parallèle au dipôle terrestre; d'autre part, nous négligerons la courbure du front dans le plan contenant le soleil et l'axe du dipôle*.

La première condition exprimée ci-dessus nous définit, comme forme moyenne de chaque corne, une ligne de force allant du point Q à la latitude φ_s au sol. Or, la ligne de force partant du point Q est déterminée par la distance z , en rayons terrestres, du front du faisceau au centre de la terre, puisque, dans le cas d'un front parallèle à l'axe du dipôle, la latitude φ des points Q est toujours égale à $35^\circ 5$. Un calcul simple permet ainsi d'obtenir pour chaque z (ou ΔH) la latitude φ_s (ou l'inclinaison I_s) correspondante. Le tableau suivant donne la correspondance entre les ΔH (première phase de l'orage) et les inclinaisons au sol I_s :

ΔH	100	50	25	10	5	2	1	0,1
I_s	78°	$79^\circ 5$	$80^\circ 7$	$81^\circ 8$	$82^\circ 9$	$83^\circ 9$	$85^\circ 0$	$86^\circ 5$

Ces valeurs d'inclinaison au sol**, qui devraient être légèrement augmentées pour tenir compte de la courbure du front, peuvent être comparées aux résultats expérimentaux obtenus précédemment. Tout d'abord, la présence de l'activité J à des latitudes moyennes semble absolument inexplicable à partir du schéma des cornes; par exemple, pour être provoquée à des latitudes équivalentes à $I' = 68^\circ$ par une arrivée directe de corpuscules, elle nécessiterait l'existence d'un ΔH de l'ordre de 1500 gammas. Ce fait, joint d'ailleurs à celui de la variation rapide de l'heure du maximum de l'activité J dès le bord intérieur de la zone aurorale, nous conduira à chercher une autre explication de la présence de cette activité, tant sur la zone aurorale qu'à l'extérieur; nous y reviendrons au paragraphe 6 de ce chapitre. Par ailleurs, d'après le tableau ci-dessus, nous voyons que les régions Q correspondent à des lignes de force telles que tous les corpuscules, qui peuvent y traverser le front du faisceau, arriveront sur la terre en des zones de très haute latitude. Par exemple, Thulé, d'inclinaison $I' = 87^\circ$ correspondrait à des ΔH inférieurs à 0,1, qui ne sont évidemment pas observables, ou encore à des densités ioniques de l'ordre de $N = 0.001$ pour une vitesse de 400 km, qui ne sont certainement pas suffisantes pour provoquer un orage (cf. à ce sujet les chiffres donnés page 87). Dans le cas de très grands orages ($\Delta H = 100$), l'arrivée directe des corpuscules se ferait vers 78° , donc sur la zone aurorale; ce phénomène sera très rare, comme

* Nous noterons à ce sujet que la distance des points Q au plan équatorial est égale à $1/\sqrt{2}$ fois la distance du front au centre de la Terre dans le cas d'un front plan. Elle est sans doute petite relativement à la courbure du front. D'ailleurs, le sens de la correction qui devrait être introduite serait tel que les valeurs d'inclinaison que nous obtiendrons, pour localiser le point d'aboutissement des cornes, seraient augmentées.

** Nous allons comparer ces valeurs d'inclinaison au sol aux valeurs d'inclinaison en altitude dont nous nous sommes servis dans la première partie pour "ordonner" les données d'activité : la comparaison est-elle justifiée ? Nous avions remarqué précédemment (cf. chapitre III, 5) que le paramètre magnétique en altitude sur la verticale d'un lieu ne "signifiait" pas que le phénomène au sol était déterminé par l'élément de ligne de force à 5000 km sur la verticale du lieu, mais que ce paramètre nous renseignait sur la "forme générale" du champ à cette même altitude; et ceci nous suffisait dans la partie expérimentale où nous ne cherchions qu'à "ordonner" les phénomènes en fonction de la latitude. Il nous faut préciser ici l'approximation qui va être introduite dans la comparaison numérique que nous ferons. Nous remarquerons d'abord que le champ en altitude s'est révélé meilleur pour ordonner les phénomènes, parce qu'il tenait compte de la déformation des isoclines géomagnétiques circulaires en isoclines elliptiques et de l'écart entre la position des centres de ces deux systèmes d'isoclines. Supposons un instant que ces deux facteurs (déformation et écart) deviennent constants en dessous de 5000 km; alors, en dessous de cette altitude, la valeur de l'inclinaison deviendrait constante sur la verticale du lieu au même titre que l'inclinaison géomagnétique, et la comparaison numérique que nous cherchons à faire serait justifiée. Elle est donc approximative dans la mesure où les facteurs déformation et écart continuent à varier en dessous de 5000 km. Et nous sommes ramenés au problème que nous avons essayé de traiter à la fin du chapitre III : pourquoi l'altitude de 5000 à 3000 km se révèle-t-elle comme une altitude inférieure limite pour ordonner les phénomènes ?

ces orages. Par contre, pour les orages moyens ou faibles (ΔH compris entre 5 et 25 par exemple), l'arrivée directe des corpuscules se ferait déjà sur le bord intérieur de la zone aurorale.

Nous pouvons donc conclure de cette étude de la forme approximative des cornes, déduite de la forme des lignes de force du champ terrestre, que la position des régions Q dans le front du faisceau rend compte de la localisation de l'activité J à l'intérieur des isoclines en altitude de 81° . Plus précisément, dans le cas de faisceaux corpusculaires ioniquement pauvres, mais fréquents, les cornes aboutiraient en moyenne vers 85° d'inclinaison.

La seconde condition théorique, qui a été exposée ci-dessus et qui exprime qu'il soit nécessaire d'avoir une latitude φ_0 du turning-point telle que la condition $\varphi_0 \geq \varphi_s$ soit réalisée pour qu'une particule arrive au sol, va nous permettre de faire une remarque supplémentaire sur les intensités relatives de l'activité J créée par des faisceaux de densité donnée. En effet, si l'on suppose que ces intensités sont proportionnelles à la densité ionique (pour un instant donné), on remarquera que le rapport des densités extrêmes calculées plus haut, pour des ΔH égaux à 100 et 0.1, est de l'ordre de 10^6 ; on pourrait donc se demander si, dans le cas de faible densité, l'effet ne sera pas inobservable.

Or la formule 10 (page 90) permet de calculer aisément l'angle α avec lequel un corpuscule aborde une ligne de force quand on s'est donné φ_1 (latitude de départ) et φ_0 (latitude du turning-point). Le tableau suivant, à double entrée en φ_1 et φ_0 , donne ces valeurs de α , c'est-à-dire la valeur maximum que doit avoir l'angle α pour qu'une particule, partie de la latitude φ_1 , arrive jusqu'à la latitude φ_0 .

$\varphi_0 \backslash \varphi_1$	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
0°	90°								
10°	$71^\circ 3'$	90°							
20°	$50^\circ 4'$	$54^\circ 8'$	90°						
30°	$34^\circ 6'$	$37^\circ 5'$	$45^\circ 7'$	90°					
40°	$21^\circ 8'$	$23^\circ 2'$	$29^\circ 0'$	$41^\circ 0'$	90°				
50°	$11^\circ 8'$	$12^\circ 6'$	$15^\circ 5'$	$21^\circ 0'$	$33^\circ 5'$	90°			
60°	$5^\circ 4'$	$5^\circ 6'$	$7^\circ 0'$	$9^\circ 4'$	$14^\circ 5'$	$27^\circ 0'$	90°		
70°	$1^\circ 4'$	$1^\circ 5'$	$1^\circ 8'$	$2^\circ 5'$	$3^\circ 8'$	$6^\circ 9'$	$15^\circ 1'$	90°	
80°	$0^\circ 2'$	$0^\circ 2'$	$0^\circ 3'$	$0^\circ 4'$	$0^\circ 6'$	$1^\circ 1'$	$2^\circ 4'$	$9^\circ 0'$	90°
90°	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$	$0^\circ 0'$

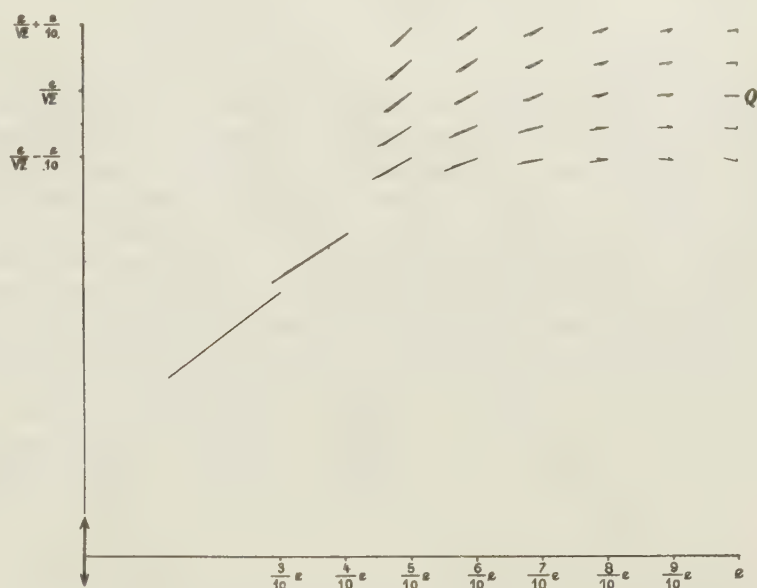
Pour que les corpuscules arrivent vers 81° d'inclinaison, c'est-à-dire vers $\varphi_0 = 72^\circ 5'$ de latitude, on voit que les conditions imposées à α au départ des régions Q (situées, dans le cas d'un front parallèle à l'axe du dipôle, vers $\varphi = 35^\circ$) sont très strictes : cet angle d'attaque α doit être inférieur à 3° . Mais, sans en conclure que cette valeur définit exactement l'étendue des régions Q au travers de laquelle les corpuscules qui passent arriveront au sol, l'intérêt de ce résultat est de nous montrer qu'approximativement, cette étendue est surtout fonction de données géométriques, et qu'angulairement, elle ne varie pas quand la distance z du front à la terre (ou encore N) varie. C'est dire que la surface "efficace" des régions Q sera d'autant plus grande que le front sera stoppé plus loin de la terre, et donc que la densité sera plus faible. Il est aisé d'apprécier la variation relative de ces surfaces "efficaces", en remarquant qu'elle est proportionnelle à la variation du rapport des surfaces des sections du tube de force au point Q et au sol. Ce rapport, égal à l'inverse du rapport des champs au point Q et au sol, peut être déduit de la formule 9. Ces inverses ont été calculés pour chacune des inclinaisons I_s , obtenues précédemment, et multipliés par la densité N correspondante : nous obtenons ainsi des nombres N' représentant la variation relative du nombre de corpuscules qui arrivent au sol par unité de temps. Le tableau ci-dessous donne les nombres N' en fonction des ΔH :

ΔH	100	50	25	10	5	2	1	0.1
N'	141	68	37	12	8.7	2.8	2.4	1.4

On voit que le rapport pour des ΔH égaux à 100 et 0.1 n'est plus que de 10^2 au lieu de 10^6 . Ainsi l'effet au sol diminue considérablement moins que les densités, à cause d'un effet de "concentration".

Avant de passer au problème de la variation saisonnière de l'intensité de l'activité J , une dernière remarque s'impose. Tous les calculs ci-dessus ont été faits en raisonnant comme si, à partir des régions Q , le champ du dipôle terrestre existait seul. En fait, le champ réel est alors formé par la superposition du dipôle terrestre et de son image dans le front du faisceau. Dans quelle mesure restent-ils valables pour le champ résultant de ces deux dipôles ? Nous avons dit que la figure 35 pouvait faire illusion dans la mesure où elle ne montre que la "forme" des lignes de force, mais ne donne aucune idée sur "l'intensité" du champ*.

La figure 36 cherche à la compléter en donnant la représentation vectorielle du champ du dipôle terrestre seul (celui-ci est évidemment représenté par les traits les plus longs) et du champ des deux dipôles, dans la région des points Q . Alors qu'il serait difficile d'obtenir l'équation des lignes de force du champ résultant afin de pouvoir faire des calculs analogues aux précédents, on voit cependant que très rapidement le champ résultant tend à s'identifier au champ du dipôle seul au point de vue de l'intensité et de la direction des vecteurs. La conclusion la plus importante à retenir de l'aspect de ces deux figures est la suivante : si nous considérons le corpuscule qui part du point Q normalement au front, il se trouve dans un champ très faible, et progresse donc presque linéairement au lieu de spiraler sur la ligne de force du dipôle seul aboutissant en Q , ligne de force à partir de laquelle nous avons déduit la valeur I_s ; il se trouve ensuite très rapidement dans un champ qui est presque équivalent au champ du dipôle seul, à cela près que les lignes de force sont en quelque sorte repoussées vers la gauche (fig. 35) ; les valeurs trouvées pour I_s , en fonction de ΔH , devraient donc être augmentées. Mais cette correction serait très faible puisque les valeurs d'inclinaison au sol ne seront que très peu changées (c'est-à-dire que la déformation des lignes de force est très faible au niveau de la terre) ; en effet, ce n'est pas l'adjonction d'un vecteur dont l'intensité est de l'ordre de quelques dizaines de gammas qui changera beaucoup l'orientation d'un vecteur qui est de l'ordre de 60000 gammas. Nous pouvons donc considérer que, dans la mesure où les calculs précédents faits sur le champ du dipôle seul sont justifiés, ils sont valables pour le champ résultant des deux dipôles.



Comparaison, dans la région avoisinant un point Q , entre les intensités du champ du dipôle terrestre seul et du champ résultant de la superposition du champ de ce dipôle et de celui de son image dans le front du faisceau.

Figure 36

7.5. - La variation saisonnière de l'activité J

Jusqu'à maintenant, nous nous sommes limités au cas où le front du faisceau est parallèle à l'axe du dipôle terrestre. Qu'arrivera-t-il quand il n'en est pas ainsi, c'est-à-dire quand la déclinaison du soleil par rapport à l'équateur du dipôle varie entre $+35^\circ$ et -35° ? Ces valeurs tiennent compte évidemment de l'angle qui existe entre le dipôle et l'axe de rotation de la terre.

* D'ailleurs, l'aspect de la figure 35 est faussé par le fait que la distance des points Q entre eux y est de l'ordre de $2\sqrt{2}e$ au lieu de $2/\sqrt{2}e$ (e , distance du dipôle au front). Ceci exagère l'effet de "compression" des lignes de force que cette figure cherche à mettre en relief.

La position des points Q sera définie en latitude φ , par rapport au dipôle, par la condition que la tangente à la ligne de force du dipôle seul soit normale au front du faisceau. Considérons pour un même hémisphère deux déclinaisons $+\delta$ et $-\delta$ de la normale au front; la condition précédente est exprimée par :

$$-\frac{3}{2} \frac{\sin 2\varphi}{3 \sin^2 \varphi - 1} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} + \delta \right), \quad (11)$$

le premier membre de l'équation étant égal à la tangente de l'angle que font l'axe du dipôle et la tangente à la ligne de force. On en déduit que la latitude φ de Q sera plus élevée pour une déclinaison positive que négative. Ce résultat est très important, car on a vu que les conditions d'arrivée des corpuscules sur la terre sont d'autant moins strictes que la latitude de départ sur les lignes de force est plus grande, puisque l'angle maximum possible α entre tangente à la ligne de force et vitesse initiale varie dans le même sens que la latitude de départ (cf. tableau page 92). La région autour des points Q d'où les corpuscules peuvent arriver sera donc d'autant plus grande que la latitude est plus grande. Ainsi, pour différentes déclinaisons δ , les latitudes φ des points Q et les angles α maximum pour une arrivée à 81° d'inclinaison I_s sont respectivement :

δ	-30°	-15°	0°	$+15^\circ$	$+30^\circ$
φ	$21^\circ 6$	$28^\circ 0$	$35^\circ 3$	$43^\circ 1$	$51^\circ 6$
α	$1^\circ 7$	$2^\circ 2$	$3^\circ 0$	$4^\circ 6$	$7^\circ 3$

Il est aisé d'en déduire les diamètres relatifs des régions autour de chaque point Q , dans lesquelles l'angle α entre ligne de force et normale au front reste inférieur à l'angle maximum α défini ci-dessus. L'accroissement des diamètres n'est pas cependant proportionnel à l'augmentation de l'angle α , puisque les lignes de force sont d'autant plus resserrées que la latitude est plus grande. On obtiendrait comme valeurs respectives ℓ , en unités arbitraires, de ces diamètres* :

δ	-30°	-15°	0°	$+15^\circ$	$+30^\circ$
ℓ	50	65	85	120	156

Nous avons donc ainsi une première cause de la variation saisonnière de l'activité J , les déclinaisons solaires positives étant favorisées par rapport aux négatives.

Il en existe sans doute une seconde qui est moins facile à mettre numériquement en évidence. En effet, les résultats ci-dessus sont valables pour le champ du dipôle terrestre seul; que se passe-t-il quand on considère le champ résultant de ce dipôle et de son image dans le front du faisceau? Comme dans le cas d'une déclinaison nulle, le champ résultant des deux dipôles est très faible dans la région autour des points Q ; les corpuscules auront tendance à y progresser sans être déviés, à l'action près de la composante normale à la vitesse. Imaginons, pour amplifier le trait que nous cherchons à mettre en relief, que les corpuscules progressent sans être nullement déviés. Sur la normale au front du faisceau partant du point Q , les angles α sous lesquels ils abordent les lignes de force du champ résultant des deux dipôles en des points situés à des distances successives du front de $0.1 e$, $0.2 e$... $0.5 e$ sont respectivement pour les différentes déclinaisons, e étant la demi-distance des deux dipôles :

* Il faut remarquer que ces valeurs sont relatives à une longueur parce que nous n'avons raisonné que dans le plan méridien contenant les centres de la terre et du soleil. Si l'on prenait en compte les plans méridiens avoisinants, on conçoit qu'interviendraient alors des valeurs approximativement proportionnelles aux carrés des ℓ .

δ	0.1 e	0.2 e	0.3 e	0.4 e	0.5 e
+30°	6°2	10°5	16°8	25°1	35°1
-30°	8°2	16°6	26°0	35°1	44°0
+15°	5°8	13°0	19°4	25°5	34°3
-15°	6°7	14°0	21°6	27°7	38°0

On voit que les angles α sont plus grands pour les déclinaisons négatives que positives : par conséquent, la latitude φ_0 du turning-point sera plus petite, et les corpuscules seront arrêtés plus loin de la terre. A cet effet "angulaire", il faut ajouter un effet "linéaire" provenant de ce que, pour une latitude donnée, la courbure est d'autant plus grande sur une ligne de force qu'elle passe plus près de l'équateur; comme, de ce fait, les rayons de courbure des lignes de force passant aux points Q sont respectivement proportionnels à 2.41 et 1.61, 1.10 et 0.98 pour les déclinaisons $\pm 30^\circ$ et $\pm 15^\circ$, les variations angulaires précédentes, déjà plus grandes pour les déclinaisons négatives que positives, correspondent à des trajets plus courts pour des déclinaisons négatives que positives. Ces deux effets, angulaire et linéaire, s'ajoutent l'un à l'autre pour rendre l'arrivée des corpuscules sur la terre moins probable dans le cas des déclinaisons négatives que positives.

Il ne faut certes pas attacher une trop grande signification à ces valeurs numériques qui ne sont valables que pour des particules isolées. Mais il est facile d'imaginer comment se déformeraient les lignes de force représentées sur la figure 35 et résultant de la superposition des champs des deux dipôles si le front n'était plus parallèle à l'axe du dipôle terrestre. Considérant par exemple que l'hémisphère Nord correspond à la partie supérieure de cette figure, et que la déclinaison du soleil est positive et égale à 30° , le point Q supérieur aura, par rapport aux régions de haute latitude Nord, une position relative telle que les corpuscules passant par ce point avec une vitesse normale au front atteindraient les régions Nord par un trajet qui serait presque en ligne droite, en ne rencontrant partout qu'un champ dont la direction serait parallèle à leur vitesse. Par contre, le point Q inférieur aura, par rapport aux régions de haute latitude Sud, une position relative telle que les corpuscules passant par ce point, avec une vitesse normale au front, se dirigent dans une direction qui fait un angle très grand (supérieur à 90°) avec les lignes de force aboutissant aux régions de haute latitude Sud; ils vont donc subir l'influence d'une composante normale à leur vitesse, qui sera de plus en plus grande; et, rapidement freinés, ils ne pourront atteindre la terre. Ces considérations qualitatives éclairent sans doute le raisonnement quantitatif (bien qu'approximatif) précédent. Cependant ce dernier était peut-être nécessaire dans la mesure où le même genre de considérations qualitatives, dans le cas d'un front parallèle à l'axe du dipôle, conduirait à remarquer que les corpuscules partant du point Q, avec une vitesse normale au front, ont à subir un changement de presque 90° dans la direction moyenne de leur vitesse pour pouvoir atteindre les régions polaires. Il n'était donc pas inutile de se rendre compte des conditions nécessaires pour qu'une particule isolée puisse arriver; les conclusions ainsi obtenues, qui ne peuvent évidemment être étendues strictement au flot de corpuscules qui peut passer à travers les régions Q, peuvent cependant l'être qualitativement dans la mesure où il est surtout question ici de plus et de moins, c'est-à-dire de relatif.

Il nous faut ajouter une dernière remarque à propos de cet effet de déclinaison solaire, susceptible de rendre compte de la variation saisonnière de l'activité J. En effet, les valeurs de déclinaison solaire $\pm 35^\circ$ par rapport à l'équateur magnétique, dont nous avons parlé, sont des valeurs extrêmes. Elles ne signifient pas qu'au solstice de juin par exemple, la déclinaison solaire ait une valeur constante égale à $+35^\circ$, mais qu'au cours de la demi-journée de 24 heures, cette valeur varie de $\delta = +23^\circ 5' + 11^\circ 5'$ à $\delta = +23^\circ 5' - 11^\circ 5'$ depuis le moment où le plan contenant les axes de rotation de la terre et du dipôle passe devant le soleil, la partie Nord de l'axe du dipôle étant alors du côté du soleil par rapport à l'axe de rotation, jusqu'au moment où ce plan passe de nouveau devant le soleil avec la partie Nord de l'axe du dipôle de l'autre côté du soleil par rapport à l'axe de rotation. La déclinaison du soleil par rapport à l'équateur magnétique subit donc une variation journalière dont l'amplitude est de 23° : cette variation doit nécessairement se faire sentir, en ce sens que les stations dont la position géographique est telle que la déclinaison du soleil est $\delta + 11^\circ 5'$ quand le soleil passe au méridien magnétique de la station doivent être favorisées par rapport à celles pour lesquelles la déclinaison solaire est $\delta - 11^\circ 5'$ pour une position relative analogue au soleil.

Il semble bien qu'un tel effet puisse être décelé. En effet, nous avons déjà fait remarquer (chapitre VII, 1.1., page) que, à Calm Bay et à Chesterfield, les inclinaisons magnétiques en altitude sont égales ($82^{\circ}3$ et $82^{\circ}3$) et les latitudes géographiques très différentes ($80^{\circ}3$ et $63^{\circ}3$); ceci montre que la première station correspond plutôt au cas $\delta - 11^{\circ}5$ et la seconde au cas $\delta + 11^{\circ}5$. Or, les intensités relatives de l'activité J sont telles que la seconde station est favorisée par rapport à la première : ce fait - qui, nous l'avons dit, allait à l'encontre d'une interprétation de l'activité J du type J. M. Stagg - est bien expliqué par la variation journalière de la déclinaison solaire par rapport à l'équateur magnétique. Dans l'Antarctique, un effet analogue est plus difficile à déceler, étant donné que les stations dont nous disposons y sont moins nombreuses; cependant, il apparaît que, pour la saison simultanée d'enregistrements de Cap Denison et Cap Evans (solstice de juin 1912, c'est-à-dire hiver austral), les niveaux moyens A d'intensité d'activité à ces deux stations sont respectivement 49.3 et 37.4; cette différence provient surtout de ce que l'onde d'activité J est bien marquée à Cap Denison ($a_{\max} - a_{\min} = 30$), tandis qu'à Cap Evans elle est pratiquement inexistante; or, les latitudes géographiques de ces stations sont $-67^{\circ}0$ et $-77^{\circ}4$.

En étudiant la phase de l'activité J au paragraphe 6, nous aurons à revenir sur ce même effet "géographique" pour montrer qu'il peut rendre compte des écarts entre les heures d'arrivée du maximum d'intensité de l'activité J à des latitudes magnétiques équivalentes. Il semble en tout cas confirmer que la variation saisonnière de l'activité J peut être interprétée, selon le schéma des "cornes", par la variation saisonnière de la déclinaison du soleil, puisque cet effet géographique peut être expliqué par une cause du même genre, à savoir la variation journalière de la déclinaison du soleil par rapport à l'équateur magnétique.

7.6. - La phase de l'activité J

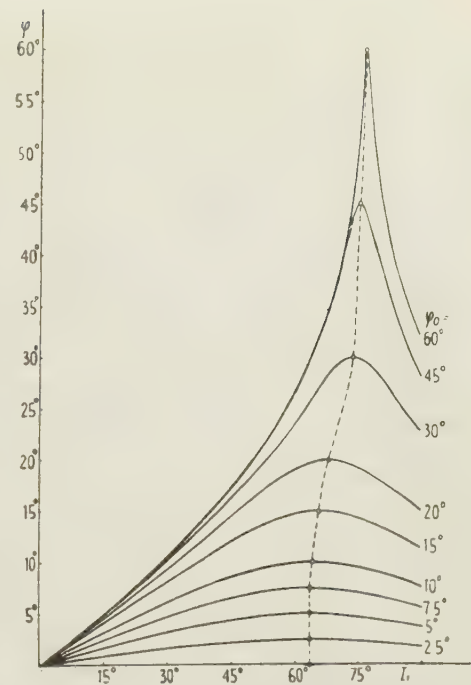
Nous abordons maintenant l'interprétation de la dernière des propriétés de l'activité J : l'heure de son maximum d'intensité. Ce problème est double en ce sens que, si l'heure de ce maximum se produit au midi magnétique local vers 85° d'inclinaison en altitude, nous savons que cette heure se déplace très rapidement vers des heures plus matinales sur le bord intérieur de la zone aurorale, pour réapparaître dans l'après-midi sur le bord extérieur. Or, l'interprétation que nous proposons nous a conduit à remarquer que la présence de l'activité J ne pouvait en aucune manière être expliquée, à l'extérieur de la zone aurorale, par une arrivée directe de corpuscules venant des cornes, et même, selon le tableau de correspondance entre ΔH et I_s (page 91), qu'une arrivée directe de ces corpuscules vers $I_s = 81^{\circ}$ à 83° ne pouvait avoir lieu qu'à des moments relativement rares, où des orages déjà relativement forts ($\Delta H = 100$ à 25) étaient en cours de déroulement (chapitre VII. 4.). En conséquence, nous devons ici rendre compte de deux phénomènes différents; d'une part, pourquoi le maximum se produit-il au midi magnétique local vers $I' = 85^{\circ}$? D'autre part, pourquoi ce maximum se déplace-t-il vers des heures matinales aux inclinaisons inférieures et pourquoi l'activité J existe-t-elle jusqu'aux latitudes moyennes?

7.6.1. - L'heure du maximum au midi magnétique local. — Dans l'exposé fait plus haut de l'application de la méthode de perturbation de H. Alfvén au mouvement de particules dans le champ du dipôle terrestre, nous n'avons utilisé que deux équations différentielles, l'une permettant d'affirmer que la trajectoire moyenne se trouve sur une surface de révolution engendrée par une ligne de force définie par la distance r_e à laquelle elle traverse l'équateur, l'autre définissant le mouvement en latitude de la particule et, en particulier, la position de son turning-point. La troisième équation précise la variation de la longitude λ de la particule; elle peut se mettre sous la forme

$$\lambda - \lambda_0 = (r_e / C_{St})^2 I_1. \quad (12)$$

C_{St} est la constante de Störmer de la particule; I_1 se présente sous la forme d'une intégrale dans laquelle φ est la variable d'intégration; la latitude φ_0 du turning-point faisant partie de l'intégrant, la valeur de I_1 variera selon le φ_0 choisi. H. Alfvén a calculé la valeur de I_1

en fonction de φ pour différentes valeurs de φ_0 . La figure 37 est une reproduction de ses résultats. Il est aisé d'imaginer la forme des courbes pour un φ_0 égal à 70° ou 80° : la valeur de I_1 pour $\varphi = \varphi_0$ serait peu différente de ce qu'elle est pour $\varphi_0 = 60^\circ$. D'autre part, on remarquera que, avec une latitude de départ de l'ordre de 30 à 40° (qui est celle des points Q), la variation de I_1 est relativement petite (inférieure à 15°). Si l'on note, de plus, que I_1 doit être multiplié par le facteur $(r_e/C_{St})^2$ où r_e est de l'ordre de 10 à 50 rayons terrestres (pour une arrivée sur la terre vers 81° à 86° d'inclinaison) et C_{St} d'au moins 140 rayons terrestres (pour des protons de 1000 km/sec) ou 6000 (pour des électrons), on voit que la variation en longitude est extrêmement faible pour un seul trajet des corpuscules de la région des points Q à la terre. Par conséquent, à partir des régions Q qui se trouvent centrées sur le plan contenant l'axe du dipôle et le soleil, le drift en longitude de particules isolées est très faible. Il est de signe opposé pour les particules positives et les particules négatives; mais, étant donné sa petitesse (il est de l'ordre du degré pour les protons, de l'ordre de la minute pour les électrons), on peut penser qu'il donne une bonne approximation du drift possible des cornes. Ainsi, on peut considérer que le schéma des "cornes" rend compte de l'heure d'arrivée du maximum d'intensité de l'activité au midi magnétique local, dans la région d'inclinaison où les cornes aboutissent en moyenne, c'est-à-dire quand aucun orage n'est observable sur le reste de la terre.



Connexion between displacement in longitude (proportional to I_1) and latitude ϕ for a particle oscillating through the equatorial plane with amplitude ϕ_0 . (d'après H. Alfvén)

Figure 37

7.6.2. - Le déplacement rapide de l'heure du maximum. — En venant maintenant à la propriété que possède l'heure du maximum de se déplacer rapidement vers des heures matinales, nous remarquerons d'abord qu'elle ne peut en aucune manière être expliquée par un drift en longitude plus grand pour des inclinaisons inférieures. En effet, selon la formule 12, le drift est relié à la latitude, c'est-à-dire à l'inclinaison, par le facteur en (r_e/C_{St}) où r_e décroît avec la latitude. Donc, bien que ce drift soit déjà très petit, vers 85° à 86° d'inclinaison, il est encore plus petit quand on descend en latitude, et il ne peut rendre compte du déplacement rapide de l'heure du maximum, déplacement qui est amorcé à l'intérieur de la zone aurorale. Il devient donc nécessaire de chercher une autre cause pour expliquer ce phénomène.

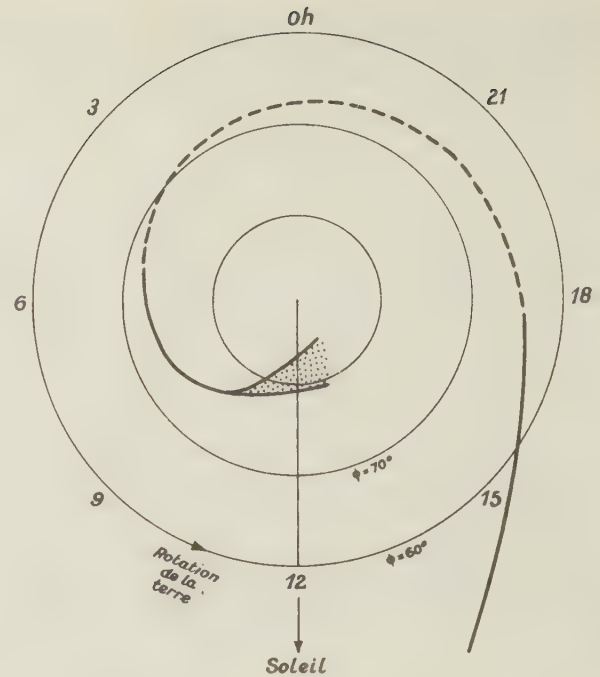
Par ailleurs, nous avons montré que le déplacement rapide persistait en descendant en latitude en sorte qu'il causait la réapparition du maximum dans l'après-midi sur le bord extérieur de la zone aurorale; nous sommes ainsi naturellement amenés à nous demander également la raison de l'existence de l'activité J sur le bord extérieur de la zone aurorale et jusqu'aux latitudes moyennes, existence dont nous avons montré que le schéma des cornes, ou encore une arrivée directe des corpuscules, ne pouvait rendre compte*. Bien plus, cette existence de l'activité J aux latitudes moyennes a été décelée le plus nettement à partir des jours calmes; ceci souligne l'impossibilité d'en rendre compte à partir d'un tel schéma.

L'ensemble des remarques précédentes incline à penser que le mécanisme qui serait responsable du déplacement rapide de l'heure du maximum de l'activité J serait également responsable de la présence de cette activité aux latitudes moyennes. La figure 38 a été construite

* Nous avons remarqué également que son existence sur le bord intérieur de la zone aurorale (vers 82° à 83°) ne pouvait être, elle aussi, expliquée qu'en cas de très grands orages.

pour mieux faire saisir la continuité qui semble exister dans la loi de variation, en latitude, de la phase de l'activité J ; elle aidera également à comprendre la solution que nous voudrions suggérer. Sur une projection polaire (centrée sur le pôle géomagnétique), nous avons dessiné une courbe qui représente le lieu géométrique des points d'un hémisphère où, à un instant donné, se produit le maximum de l'activité J ; les heures qui sont indiquées représentent donc l'heure locale géomagnétique de chaque méridien géomagnétique quand le soleil passe au méridien choisi pour origine. La courbe a été tracée avec des tirets au passage de la zone aurorale pour souligner le fait que nous n'avons, dans cette région, déterminé la loi de variation que par des procédés indirects (cf. chapitre V. 3.) ; d'autre part, la courbe, au départ des régions polaires, a été remplacée par une plage diffuse afin de souligner le fait que, vers 85° d'inclinaison (ou 80° de latitude), le maximum se produit aux environs du midi magnétique local.

Cette figure montre comment l'amorce du déplacement rapide de l'heure du maximum de l'activité J vers 75° de latitude semble bien devoir être rapprochée de l'existence d'un maximum secondaire de l'activité dans l'après-midi sur le bord extérieur de la zone aurorale. C'est ce fait, joint à la similitude de la variation saisonnière des intensités (décroissance de l'été à l'hiver) de ces maxima par opposition à la variation saisonnière de l'intensité de l'activité N (décroissance de l'équinoxe aux solstices) qui nous a conduits à identifier comme activité J cette onde secondaire de l'activité à l'extérieur de la zone aurorale. Si, ainsi que nous l'avons dit, il est absolument impossible de rendre compte par le schéma des cornes tant du déplacement rapide vers des heures matinales de l'heure du maximum de l'activité J à l'intérieur de la zone aurorale, que de son existence à l'extérieur de cette zone, il reste la possibilité d'un écoulement vers les basses latitudes de la perturbation créée par le phénomène primaire qu'est l'arrivée directe des corpuscules, perturbation qui irait d'ailleurs en diminuant rapidement ainsi que le montre la faiblesse de l'intensité du phénomène dès le bord extérieur de la zone aurorale.



Représentation schématique, sur une projection centrée sur le pôle géomagnétique, de la loi de variation en fonction de la latitude de l'heure du maximum de la variation journalière de l'activité J.

Figure 38

Pour terminer ce paragraphe, nous reviendrons seulement sur l'effet "géographique" que nous avons mis en relief au paragraphe 5, lorsque nous traitons de l'influence de la déclinaison du soleil sur la variation saisonnière de l'activité J . Si notre hypothèse d'un écoulement du phénomène "primaire" vers l'extérieur de la zone aurorale est correcte, on peut s'attendre à trouver aux stations pour lesquelles la déclinaison du soleil par rapport à l'équateur magnétique est $\delta - 11^\circ 5'$ un effet plus grand dû à cet écoulement (c'est-à-dire un déphasage plus grand de l'heure du maximum par rapport au midi local), qu'aux stations pour lesquelles cette déclinaison est $\delta + 11^\circ 5'$. En effet, l'intensité de l'activité J est d'autant plus petite que la déclinaison du soleil est plus petite en valeur algébrique (pour l'hémisphère Nord); si le "centre de gravité" des régions où se situe le phénomène "primaire" est, en moyenne, par exemple sur l'isocline de 85 à 86°, l'aire d'expansion de ces régions sera plus petite sur les méridiens correspondant aux déclinaisons $\delta - 11^\circ 5'$ que ceux correspondant aux déclinaisons $\delta + 11^\circ 5'$; les stations situées sur les premiers, vers 82° à 83°, ne recevront presque jamais le phénomène "primaire", tandis que les stations situées sur les seconds le recevront : par conséquent, les premières stations seront beaucoup plus influencées que les secondes par le phénomène "secondaire" qu'est l'écoulement du phénomène primaire, et il en résultera que l'effet "déplacement rapide de l'heure du maximum" y sera beaucoup plus apparent qu'aux secondes. Or, si nous nous reportons aux remarques faites lors de l'étude expérimentale de la phase de l'activité J à l'intérieur des isoclines de 81° (chapitre V. 1., p. 61), nous constatons qu'un tel effet a été trouvé.

Chapitre VIII

REMARQUES A PROPOS DE L'ACTIVITÉ N

Notre but, dans ce chapitre, est de situer par rapport aux connaissances théoriques actuelles quelques-uns des résultats obtenus précédemment au cours de l'étude expérimentale de l'activité N. La première remarque qui s'impose est que nous avons presque toujours, dans cette étude, traité des données qui étaient relatives à tous les jours; malgré cela, nous avons constaté que le niveau moyen de l'activité ou l'amplitude de la variation journalière de l'activité gardaient des valeurs relativement élevées. Par exemple, à College, pour la série de 11 années, ces valeurs sont respectivement de 184,3 et 253. A supposer que nous cherchions à évaluer ces valeurs pour un ensemble de jours, duquel seraient soustraits les jours d'orage, par exemple en cherchant les valeurs qui correspondraient à tous les jours moins les jours perturbés*, nous obtiendrions pour ces mêmes 11 années de College 133,3 et 180 (pour les jours perturbés seuls, on aurait 434,5 et 565). Si arbitraire que soit le mode d'élimination des jours d'orage, ces différentes valeurs montrent que, malgré cette élimination, tant le niveau moyen que l'amplitude de la variation journalière restent à des valeurs relativement élevées. Aussi, bien que nous ayons cherché à souligner qu'une des différences essentielles de l'activité J d'avec l'activité N était le fait que l'activité J avait tendance à être plus sensible que l'activité N à une activité solaire faible, et que nous ayons parlé d'une quasi-permanence de l'activité J, sommes-nous amenés à chercher dans les connaissances théoriques ce qui répond le mieux à ce caractère également permanent, bien que moins important, de l'activité N.

Or, afin de rendre compte et de la phase principale des orages (durée moyenne de 1 à 3 jours) et de la post-perturbation (durée beaucoup plus longue), on s'accorde actuellement sur la nécessité de supposer l'existence d'un anneau de courants, circulant dans le plan équatorial magnétique. Ce phénomène, dont on pense qu'il existe non seulement pendant la période où un orage est en cours de déroulement, mais qu'il persiste pendant des périodes assez longues, est évidemment celui qui nous apporte le meilleur élément de comparaison avec nos données. Ses conditions d'équilibre, de stabilité et de disparition ont été étudiées en détail par S. Chapman et V.C.A. Ferraro (26, 38). Cependant, bien que ces auteurs pensent que de très petites oscillations du rayon de cet anneau soient capables de créer des oscillations irrégulières générales à la surface de la terre, il ne semble pas, à première vue, que l'anneau puisse aucunement rendre compte de la propriété

* Il est évident que les jours perturbés ne correspondent pas strictement à une suite de jours d'orages, et on pourrait concevoir une étude des indices K analogue à celle du storm-time. Elle semble actuellement difficile à réaliser pour des observations polaires, car il serait nécessaire de disposer de séries d'années beaucoup plus longues, afin d'y pouvoir choisir un nombre suffisant d'orages.

"polaire" de l'activité N , c'est-à-dire de sa beaucoup plus grande intensité sur la zone aurorale, puisque sa propriété principale est de superposer au champ terrestre un champ faible, mais ne décroissant que très lentement et expliquant seulement la post-perturbation.

L'importance de cet anneau, pour une comparaison avec nos résultats, vient d'une tout autre propriété qui a été mise en relief par D. F. Martyn (30). En effet, cet auteur a remarqué les faits suivants : d'une part, le diamètre et la section de l'anneau étant déduits uniquement à partir des données expérimentales relatives aux amplitudes de la première phase et de la phase principale des orages moyens, il se trouve que les lignes de force du champ terrestre qui tangentent les bords intérieur et extérieur de l'anneau, tangentent également les bords de la zone aurorale*; d'autre part, l'existence d'un champ radial de polarisation de l'ordre de 10^6 volts, entre les bords extérieur et intérieur de l'anneau, peut expliquer que les charges qui ont tendance à s'échapper le long des lignes de force par suite de leur quasi-stabilité auront une énergie suffisante pour atteindre le niveau auroral, parce qu'elles seront accélérées par le champ de polarisation. La contradiction de l'énergie des particules aurorales, très supérieure à l'énergie qui correspondrait à la vitesse de 1000 à 1500 km/sec de celles des faisceaux corpusculaires solaires, est ainsi levée. De plus, le passage des corpuscules de l'anneau jusqu'à la zone aurorale équivaldrait au transfert du champ radial de polarisation de l'anneau sur la zone aurorale sous la forme d'un champ électrique dirigé suivant les méridiens**; sous l'influence de ce champ électrique et du champ magnétique presque vertical de la zone aurorale, un courant de Hall intense y prendrait naissance, puisque l'ionisation de la haute atmosphère serait accrue par le bombardement des corpuscules, et que les masses et les fréquences de collision des ions et des électrons sont différentes. Dans le cas où le faisceau de corpuscules continue de balayer la terre, le transport de l'ionisation se ferait vers l'Ouest sur le côté matin et vers l'Est sur le côté soir, puisque le champ de polarisation de l'anneau (et donc le champ transféré) est de même sens sur le côté matin et le côté soir; il rendrait compte, en ce cas, de la perturbation S_D . Par contre, quand le faisceau aura cessé d'agir, le mouvement aura lieu vers l'Ouest sur toute la zone aurorale.

On voit par conséquent que l'anneau équatorial représente un schéma théorique qui est susceptible de rendre compte non seulement de la phase principale des orages et de la post-perturbation, mais aussi des propriétés de l'activité N du point de vue où nous les avons étudiées, c'est-à-dire en utilisant les données de tous les jours et en cherchant à préciser comment les régions aurorales se distinguent des autres régions. Cependant, dans la mesure où les données d'activité ne sont qu'une analyse imparfaite des enregistrements, puisqu'elles tendent à en effacer les caractères morphologiques essentiels, il sera nécessaire tout d'abord d'essayer de les rattacher à ces caractères morphologiques. Puis nous chercherons à voir si le rôle joué par le champ en altitude peut être éclairé par l'anneau équatorial. Enfin nous essayerons de situer par rapport aux théories des orages, et spécialement par rapport à l'anneau équatorial, nos résultats expérimentaux du point de vue de la localisation en latitude et du point de vue de la localisation en longitude.

8.1. - Données d'activité et caractères morphologiques

Les données d'activité que nous avons utilisées sont basées sur la mesure d'une amplitude absolue tri-horaire; en principe, la variation journalière S_q a été éliminée de la mesure. On peut d'abord se demander dans quelle mesure la variation journalière S (qui est équivalente, pour tous les jours, à la variation S_q) contribue à la variation journalière des amplitudes a_i .

* On remarquera, de plus, que l'élargissement de la zone aurorale, en période de grande activité, est aisément interprété de cette manière. En effet, grande activité signifie faisceaux plus denses, et donc diamètre plus petit de l'anneau. Et, en ce cas, les lignes de forces qui tangentent les bords de l'anneau correspondent à des latitudes inférieures.

** Notons que ceci signifie que les corpuscules positifs ne suivent pas les mêmes lignes de force que les particules négatives, lors du passage de l'anneau à la zone aurorale.

Nous aurions un élément grossier de comparaison en effectuant une mesure d'amplitudes absolues tri-horaires sur la courbe annuelle de variation journalière S ; cette mesure, faite pour des observatoires de la zone aurorale, nous montrerait que les amplitudes ainsi obtenues seraient souvent inférieures au 1/10 des amplitudes moyennes annuelles a_i ; de plus, les phases de leur variation seraient souvent différentes. C'est dire combien des variations du champ magnétique du type "courant moyen", telles qu'elles sont atteintes à travers la variation journalière S , influent peu sur les amplitudes a_i ; d'ailleurs, les différences de phase obtenues soulignent également que les phénomènes sont différents. Les amplitudes absolues tri-horaires a_i sont donc essentiellement sensibles aux variations irrégulières rapides, c'est-à-dire aux variations dont la pente de variation est relativement grande par rapport à l'intervalle de temps constant de 3 heures qui est choisi comme base de la mesure.

Est-il possible d'identifier quelques-unes de ces variations rapides irrégulières qui seraient, en majeure partie, responsables de l'intensité du niveau moyen A des amplitudes a_i , de l'amplitude de leur variation journalière, ou de l'intensité de leur niveau minimum ? Nous avons déjà laissé entendre à plusieurs reprises que les "baies" magnétiques étaient un des caractères morphologique des enregistrements dont on pouvait penser qu'il influençait grandement la mesure des amplitudes tri-horaires. Un moyen de vérification consisterait à mesurer les indices K d'une suite d'enregistrements, en supprimant systématiquement les baies afin de voir ce qu'il resterait alors de la variation journalière de l'activité ; ce procédé serait critiquable dans la mesure où il serait sans doute difficile d'identifier avec sûreté ce qui est une baie ou ce qui ne l'est pas. Nous disposons cependant d'un autre moyen pour vérifier cette hypothèse. De nombreuses études ont été faites sur les baies, et un de leurs résultats principaux est de montrer qu'il existe une variation journalière nette de la fréquence des baies, laquelle est la plus grande la nuit. Le dépouillement fait par P. Rougerie (39) sur 35 années d'enregistrements du Val Joyeux et portant sur un total de 3948 baies le conduit à situer vers 21-22 heures le maximum de fréquence avec 521 individus, et vers 7-9 heures le minimum avec 13 individus seulement ; ces heures correspondent parfaitement aux heures du maximum et du minimum de la variation journalière d'activité, telles que nous les avons trouvées au Val Joyeux. H. C. Silsbee et E. H. Vestine (25) ont étudié les baies des enregistrements de la IIème A. P. I. ; ils ont, en particulier, utilisé 5 observatoires situés sur la zone aurorale. Si nous relevons, sur leurs courbes donnant la variation journalière de la fréquence des baies, les heures du maximum de fréquence, données en heure géomagnétique locale*, et les transformons en heures magnétiques en altitude pour comparaison avec les heures magnétiques $M_N - \Gamma'$ que nous avons obtenues à ces mêmes stations pour la IIème A. P. I., nous obtenons les valeurs du tableau suivant.

	Heure magnétique locale du maximum de fréquence	$M_N - \Gamma'$
Julianehaab	23.3 h	23.5 h
Fort Rae	22.3 h	22.9 h
Tromsø	1.0 h	0.5 h
Dickson	0.3 h	0.9 h
College	1.4 h	0.4 h

L'accord, comme au Val Joyeux, est excellent ; et nous remarquons que la tendance à un retard plus grand, vers 77-78° d'inclinaison, de l'heure d'arrivée du maximum d'activité, telle qu'elle a été définie précédemment (cf. par exemple fig. 12), est ici retrouvée pour l'heure du maximum de fréquence des baies. Il faut souligner que les auteurs de cette étude pensent que les variations de fréquence des baies doivent être imputées non seulement au fait qu'elles sont plus nombreuses à certaines heures qu'à d'autres, mais aussi à ce qu'elles varient en amplitude au cours de la journée, et que les règles de sélection choisies pour leur identification (c'est-à-dire que celles ayant une amplitude inférieure à une certaine limite ne sont pas retenues) favorisent les baies les plus intenses.

* Nous prenons sur ces courbes l'heure ronde du maximum. Le dixième d'heure qui apparaît dans le résultat, provient de la soustraction de Γ'

Il semble en tout cas justifié de dire qu'il y a une corrélation certaine entre les baies et la variation journalière de l'activité. Cette corrélation consisterait dans le fait suivant : étant donné que l'intervalle tri-horaire est spécialement sensible aux baies, puisque ce phénomène d'une durée moyenne de 1 à 2 heures provoquera la croissance brusque d'au plus 2 amplitudes tri-horaires a (dans le cas où la baie chevauche sur deux intervalles successifs), la forme de la variation journalière de l'activité, c'est-à-dire l'amplitude de cette variation (quantité $a_{\max} - a_{\min}$) et l'heure du maximum de cette variation (quantité $M_N - T'$), serait en majeure partie provoquée par les baies.

Par contre, quelle serait la signification de la quantité $a_{\min}$, représentant l'intensité du niveau minimum de l'activité, et que nous avons appelée "fond continu d'activité" ? Selon les valeurs données plus haut pour le Val Joyeux, on peut constater que les baies sont pratiquement inexistantes à l'heure du minimum d'intensité de l'activité. Cependant, le niveau minimum de l'intensité est loin d'être négligeable (cf. fig. 32). Dans ces conditions, ne serait-il pas possible de relier cette quantité à des variations irrégulières qui ne présentent pas, au même titre que les baies, une variation journalière prononcée ? On peut considérer en particulier que, lors du développement d'un orage, le niveau d'intensité de toutes les amplitudes tri-horaires sera augmenté sans qu'une action journalière marquée puisse jouer. Si une telle action n'est pas totalement éliminée, puisqu'on a proposé de décrire le déroulement des variations irrégulières d'un orage en le décomposant en baies individuelles (qui favoriseraient par conséquent le côté nuit de la terre), il reste que l'agitation générale qui est provoquée par un orage commence à une heure absolument quelconque, et que, d'autre part, les variations sporadiques du diamètre de l'anneau équatorial provoquent des effets qui sont spécifiquement universels. Par conséquent, nous relierons la quantité $a_{\min}$ ou "fond continu d'activité" aux orages en général; la corrélation est certainement beaucoup moins nette que celle qui existe entre les baies et les quantités $M_N - T'$ ou $a_{\max} - a_{\min}$. Mais il existe cependant une relation probable entre l'intensité du niveau minimum de l'activité, considéré comme étant ce qui reste d'agitation "universelle" quand on a supprimé l'effet "local" dû aux baies, et les orages.

8.2. - Champ en altitude

E. H. Vestine, étudiant les caractères dissymétriques du champ de perturbation magnétique par rapport au champ géomagnétique (40), avait noté que deux facteurs pouvaient causer une telle dissymétrie :

- 1 - l'écart entre champ magnétique réel et champ géomagnétique, que nous appellerons facteur "magnétique";
- 2 - l'écart entre pôle géographique et pôle géomagnétique, que nous appellerons facteur "géographique".

Des variations journalières de perturbation S_{Di} du champ magnétique, il déduisait une courbe qu'il appelait "auroral-zone curve". La comparant à l'isochasme de fréquence aurorale maximum de Fritz, il trouvait des écarts importants; mais lors d'un travail ultérieur où il reprenait l'étude de Fritz avec des données plus nombreuses et plus homogènes (17), il constatait une excellente ressemblance entre son isochasme et son "auroral-zone curve". Au sujet des caractères dissymétriques par rapport au champ géomagnétique de ces courbes magnétique ou aurorale, il faisait deux remarques :

- 1 - les ovales sont allongées dans le sens de l'écart entre pôles géographique et géomagnétique;
- 2 - leur axe d'ovalisation est parallèle au grand axe de l'isocline au sol (pour 1922) de 80° .

En conséquence, il ne concluait en faveur d'aucun des deux facteurs "géographique" ou "magnétique".

Nous est-il possible ici de donner nettement la préférence à l'une de ces facteurs ? Il est évident que, pour l'hémisphère Nord, la difficulté naît du fait que l'angle entre le méridien sur lequel sont situés les pôles géographique et géomagnétique et le grand axe des isoclines à 5000 km d'altitude est très faible (15° à 20°); c'est pourquoi les deux remarques faites par E.H. Vestine peuvent être considérées comme aussi exactes l'une que l'autre, et ne permettent pas de déterminer lequel des deux facteurs est prépondérant. Nous noterons cependant que la situation est nettement différente dans l'hémisphère Sud; en effet, l'ovalisation y est beaucoup moins marquée sur l'isochasme de fréquence aurorale maximum, de même que les isoclines en altitude sont beaucoup moins allongées; d'autre part, par rapport à l'isocline géomagnétique, l'isochasme semble être décalée nettement dans le sens du décalage entre pôles géomagnétique et magnétique, sans qu'aucun effet semblable puisse être remarqué relativement à l'écart entre pôles géomagnétique et géographique; on pourrait donc penser que le facteur "magnétique" joue nettement plus dans ce cas que le facteur "géographique".

Notre étude des données d'activité magnétique a montré, par ailleurs, que la "classification" des observatoires, médiocre avec le champ géomagnétique, devenait bien meilleure avec le champ en altitude; et ceci, selon deux points de vue :

- 1 - l'intensité du niveau moyen A de l'activité en fonction de la seule inclinaison;
- 2 - le moment du maximum journalier d'intensité de l'activité en fonction de l'inclinaison et de la déclinaison (introduite par la valeur de ψ d'où était déduite celle de Γ).

Nous référant à ce que nous avons dit de la signification du champ en altitude comme "paramètre magnétique" (cf. chapitre III.5), nous dirons que ce meilleur résultat obtenu avec le champ en altitude rend compte, en quelque sorte, de l'écart entre champ géomagnétique et champ réel; plus précisément, si le champ géomagnétique se révèle insuffisant pour "ordonner" les phénomènes d'activité magnétique, c'est parce que les isoclines réelles sont déformées et déplacées par rapport aux isoclines géomagnétiques, et que les corpuscules suivent les lignes de force du champ magnétique réel et non pas les lignes de force du champ géomagnétique*.

Le rôle de l'anneau équatorial, tel qu'il est présenté par D. F. Martyn, est-il susceptible de confirmer que le facteur "magnétique" est plus important que le facteur "géographique" ? Nous remarquerons que, si les corpuscules qui arrivent sur la zone aurorale venaient directement du soleil, comme dans un schéma du type Störmer, il semble bien que la variation journalière de la déclinaison du soleil par rapport à l'équateur magnétique devrait jouer et introduire ainsi un effet "géographique". Dans le cas de l'anneau équatorial, la même conclusion ne semble pas pouvoir être retenue. En effet, S. Chapman a montré (29) que la masse de l'anneau pouvait être considérée comme suffisamment faible pour que, en dépit de son diamètre de plusieurs rayons terrestres, son plan de symétrie reste dans l'équateur magnétique lors de la rotation journalière de la terre. Dans ces conditions, si une partie importante de l'activité N de tous les jours peut être attribuée aux baies, comme nous avons cherché à le montrer au paragraphe précédent, et donc à l'anneau selon le schéma de D. F. Martyn, il est vraisemblable que le facteur "magnétique" sera prépondérant, puisque la rotation de la terre (qui pourrait introduire un facteur "géographique") n'interviendra pas; en effet, la source immédiate des corpuscules n'étant plus le soleil, mais l'anneau qui, lui, est en quelque sorte rigidement lié à la terre, les lignes de force tangentant les bords de l'anneau et arrivant sur la zone aurorale (facteur "magnétique") suffiront à localiser l'arrivée des corpuscules en fonction de la latitude**. La même remarque pourrait être faite pour la part de l'activité N qui est d'ordre plus "universel", telle que les orages, puisque les parois du "creux" formé dans le front du faisceau de corpuscules s'adapteront probablement à la variation du champ magnétique terrestre due à la rotation de la terre.

* Le paradoxe de l'utilisation du champ à 5000 km d'altitude, et non à des altitudes inférieures, a été partiellement expliqué au chapitre III. 5.

** Nous noterons également que l'importance du facteur "heure magnétique en altitude", telle qu'elle est montrée dans les résultats relatifs à $M_N - \Gamma'$ (fig. 12), est significative; en effet elle prouve que la direction en azimut des lignes de force, et non pas celle des méridiens géographiques, permet d'ordonner le phénomène de la variation journalière.

Faut-il en conclure qu'il n'existe aucun effet "géographique" dans les caractères dissymétriques, par rapport au champ géomagnétique, de perturbation magnétique ? Si nous revenons à la discussion faite au chapitre III. 3. 3. sur les écarts résiduels des valeurs expérimentales A par rapport à la courbe adoucie de la figure 11, dans la région où ces écarts restent importants, il ne semble pas qu'un tel effet puisse être décelé à partir de ce type de données relatives à "l'activité magnétique". En conséquence, nous dirons que, pour l'activité magnétique, le facteur "magnétique" semble beaucoup plus important que le facteur "géographique", et qu'une telle prépondérance semble être confirmée par le schéma théorique de l'action de l'anneau équatorial.

8.3. - Localisation en latitude de l'activité N

Nous chercherons ici si la forme des courbes exprimant la variation en fonction de l'inclinaison des différentes données d'activité peut être interprétée d'un point de vue théorique, c'est-à-dire pourquoi les zones d'inclinaison où ces données ont une valeur maximum sont privilégiées. Dans cette ligne, le niveau moyen A de l'intensité semble peu intéressant, dans la mesure où il efface complètement l'aspect "variation journalière" de l'activité.

Nous examinerons d'abord l'ensemble des deux courbes exprimant, en fonction de l'inclinaison, la variation de l'amplitude journalière de l'activité N ($a_{\max} - a_{\min}$; fig. 32) et la variation de l'heure de son maximum d'intensité ($M_N - T'$; fig. 12) : ces deux courbes manifestent l'existence d'une même zone privilégiée où l'amplitude de la variation journalière et le retard de l'heure de son maximum sont les plus grands ; et par conséquent, c'est là qu'il faudrait situer le phénomène "primaire" de l'arrivée des corpuscules ; le centre de cette zone pourrait être placé vers $77^\circ - 78^\circ$ d'inclinaison. Sachant que la variation journalière de l'activité, pour des données de tous les jours, est en majeure partie due aux baies et a donc sa source sur l'anneau, nous pouvons, du centre de cette zone, déduire son diamètre moyen*. Une inclinaison de $77^\circ 5'$ correspond à une ligne de force qui passe à 6 rayons terrestres du centre de la terre sur le plan équatorial. D'autre part, si nous cherchons à estimer la section moyenne de l'anneau, nous la déterminerons plutôt par les heures $M_N - T'$ que par les amplitudes $a_{\max} - a_{\min}$. En effet, la courbe exprimant la variation des secondes est beaucoup moins sûre dans la région autour de 82° d'inclinaison, par suite de la superposition des ondes N et J qui faussent sans doute la mesure des $a_{\min}$; une telle erreur ne peut influencer sur la mesure de l'heure du maximum M_N . Prenant comme référence la zone où l'heure du maximum est nettement en retard sur les autres régions ($M_N - T' > 23.5$ h par exemple), nous obtenons comme limites de cette zone 79° et 75° d'inclinaison, c'est-à-dire des lignes de force passant à 7.5 et 4.5 rayons terrestres dans le plan équatorial. Ces dimensions de l'anneau (diamètre égal à 12 rayons terrestres, section égale à 3 rayons terrestres) ne peuvent être considérées que comme un ordre de grandeur et sont relatives à la IIème A. P. I. ; elles ne sont donc significatives que pour une période de minimum d'activité solaire.

Pouvons-nous estimer la variation de ces dimensions avec l'activité solaire ? L'étude des intensités des niveaux moyens A pour les jours calmes et les jours perturbés (fig. 30 ; chapitre VI. 1. 3.) nous avait permis d'estimer que le bord extérieur de la zone aurorale se déplaçait de 75° à 71° d'inclinaison. Dans la mesure où nous pouvons assez grossièrement assimiler "bord extérieur" de la zone aurorale et "bord intérieur" de l'anneau (en fait, le bord "intérieur" de l'anneau doit correspondre à une latitude un peu supérieure à celle du bord extérieur de la zone aurorale), ceci correspond à une décroissance du rayon du bord intérieur de l'anneau de 4.5 à 3 rayons terrestres. L'étude faite du déplacement du maximum de $a_{\max} - a_{\min}$ en fonction de l'inclinaison pour des amplitudes planétaires $A_p = 10$ et $A_p = 20$ (la première correspond à la valeur de A_p pour la IIème A. P. I.) et qui nous a conduits à estimer à 3° ou 4° ce déplacement, permet de penser que le diamètre moyen de l'anneau devient de 8 rayons terrestres au lieu de 12**.

* La même remarque qu'au chapitre précédent (cf. chapitre VII. 4, page 91, note 2) peut être faite au sujet des comparaisons numériques que nous ferons ici.

** Nous remarquerons qu'une variation de A_p de 10 à 20 est relativement faible ; en conséquence, des diamètres plus faibles seraient obtenus pour un orage fort. Mais le tableau de correspondance entre ΔH et z (chapitre VII, page 87) montre que z (et donc le rayon de l'anneau) varie très peu quand ΔH est grand.

Nous pouvons également considérer les résultats obtenus pour le fond continu d'activité. La courbe représentant la variation, en fonction de l'inclinaison, de la quantité $a_{\min}$ (fig. 32) montre que celle-ci est la plus grande vers 80° d'inclinaison*. Le fait remarquable, nous l'avons dit, est que cette région la plus perturbée du point de vue "fond continu d'activité" ou "orages" se trouve décalée de 3 à 4° d'inclinaison (ou de 600 à 800 km) vers le pôle par rapport à la zone aurorale classique : les orages ne seraient donc pas le plus intense sur la zone aurorale, mais au-dessus. Peut-on donner une interprétation de ce fait ? S. Chapman et V. C. A. Ferraro n'ont donné que très peu de précisions sur la manière dont les corpuscules, pendant le déroulement de l'orage, atteignent la terre ; par leur théorie, ils ont surtout cherché à rendre compte soit de la première phase des orages, soit de la phase principale, et ceci sans qu'il y ait aucune arrivée directe des corpuscules sur la terre, mais seulement par l'effet à distance du faisceau. Ils croient cependant, semble-t-il, à la possibilité pour un certain nombre de corpuscules de s'échapper des parois du creux et de venir provoquer les perturbations spécialement violentes observées dans les régions polaires ; et ces corpuscules ne s'échappent pas seulement au niveau du plan équatorial (il en est ainsi dans le cas de l'anneau), mais aussi en dehors.

Or si nous considérons d'une part la surface occupée par le front du faisceau quand il est encore un plan, et d'autre part les lignes de force du dipôle terrestre qui coupe ce plan, ces dernières atteignent la terre à des latitudes d'autant plus élevées qu'elles coupent le plan plus loin de l'équateur ; et cet effet sera encore augmenté quand le plan est déformé en un "creux". Le fait que ce qu'on pourrait appeler en quelque sorte la "zone aurorale des orages" soit à une latitude plus haute que la zone aurorale classique ou "zone aurorale des baies" pourrait donc provenir de ce que, dans le cas des baies, les corpuscules venant de l'anneau partent tous du plan équatorial, et dans le cas des orages, non pas seulement de ce plan, mais aussi à tous les niveaux des parois du creux ; en conséquence, les seconds arrivent en moyenne à des latitudes plus élevées que les premiers.

8.4. - Localisation en longitude de l'activité N

Nous abordons ici une question délicate, à savoir pourquoi le maximum de l'amplitude de la variation journalière se produit à des heures nocturnes plutôt que diurnes. Pour bien définir le problème, il faut souligner de nouveau que la variation journalière en intensité de l'activité N est un phénomène qui est très marqué à partir de données de tous les jours. Or, si une explication simple pouvait être donnée d'une plus grande activité nocturne dans un schéma du type Störmer, où le drift en longitude des corpuscules au cours de leur trajet soleil-terre était largement suffisant pour en rendre compte, il n'en est pas de même si nous persistons à nous placer au point de vue de l'anneau équatorial. En effet, si cet anneau est favorable à une étude de données de tous les jours par le fait qu'on peut supposer que c'est un phénomène qui existe fréquemment et pendant de longues durées, il apparaît cependant bien difficile d'y trouver une dissymétrie qui expliquerait la plus grande activité nocturne**. en effet, quand le faisceau corpusculaire a cessé de balayer la terre, les corpuscules tournent dans le même sens sur tout le tour de l'anneau. S. Chapman a souligné cette difficulté dans son article sur les théories des aurores (29) :

"During quiet periods with no stream or cloud of particles impinging on the earth, the escape of charges from the ring should be equal all round it, whereas during such times of magnetic calm aurorae are few, and favor particular longitudes. Hence it may be that the spontaneous emission of the ring particles from its charged surface will not explain the aurora. This manifests itself, at quiet periods, at particular local times. It may be, however, that the presence of the ring is an important factor in the theory of magnetic storms and aurorae, when it is disturbed

* Selon l'aspect de la courbe, il semblerait plus juste de prendre 81° ; rappelons que la présence d'une activité J déjà intense vers 82° fait que le point expérimental situé vers $82^\circ 3'$ correspond à une intensité plus grande qu'elle ne serait si l'activité N agissait seule. Par contre, vers 80° , l'activité J semble peu importante à l'heure du minimum, puisque la variation saisonnière de l'intensité de $a_{\min}$ est du type N.

** Nous parlons seulement de "plus grande activité nocturne" bien que la courbe exprimant la variation de $M_N - \Gamma'$ (fig. 12) montre qu'il est possible de déterminer les heures avec une précision relativement grande. Cependant, obtenue à partir de moyennes, elle ne peut que signifier une probabilité.

by the approach of the solar gas. The prior presence of the ring was not considered by Ferraro and myself in developing our theory of storms; it will be an early task to examine its influence".

L'auteur ne parle ici que des aurores, mais il nous semble que notre problème est bien le même, dans la mesure où nous avons montré (cf. chapitre VIII. 1) la nette corrélation qui existe entre la variation journalière de l'activité et les baies, et où, par ailleurs, il existe également une bonne corrélation entre les aurores et les baies.

La dissymétrie qui existe sur la terre entre le côté nuit et le côté jour semble peu significative parce qu'il s'agit de trouver la raison pour laquelle il part plus de corpuscules d'une région de l'anneau que d'une autre, et, plus précisément, pourquoi il en arrive plus sur le côté nuit où ils provoquent les aurores. Par ailleurs, on voit mal comment une telle dissymétrie terrestre (due à l'éclairement solaire) provoquerait un phénomène tel que les baies qui sont relativement bien localisées dans le temps et qui commencent parfois assez brutalement. Ce dernier caractère est spécialement intéressant; joint au fait que l'activité J nous a montré qu'il existait sans doute assez fréquemment des faisceaux corpusculaires pauvres s'approchant de la terre à des distances qui restaient souvent supérieures au rayon moyen de l'anneau, il peut nous conduire à faire les remarques suivantes.

Si nous cherchons l'influence que peuvent avoir de tels faisceaux, nous remarquerons que le ΔH qu'ils provoquent à la hauteur de l'anneau ne sera pas le même sur le côté jour que sur le côté nuit. Considérant qu'à 6 rayons terrestres, distance prise comme diamètre moyen de l'anneau, le champ terrestre a une intensité de 150 gammas, et nous plaçant dans le cas d'un faisceau s'arrêtant à 10 rayons terrestres, le ΔH serait de 12 gammas sur le côté jour et de 1,9 gammas sur le côté nuit; dans le cas d'un faisceau s'arrêtant à 15 rayons terrestres, les ΔH seraient respectivement de 2,4 et 0,7 gammas; de tels faisceaux provoquent par ailleurs à la surface de la terre des ΔH qui sont respectivement de 4,1 et 1,2 gammas. Dans le cas d'un anneau équatorial préexistant, l'arrivée de faisceaux corpusculaires pauvres introduirait donc une dissymétrie sur cet anneau par le fait que le champ magnétique agissant sur les corpuscules ne serait pas constant au cours de leur rotation autour de l'anneau. Cette dissymétrie, qui débiterait brusquement serait peut-être susceptible de rendre compte du début brusque de certaines baies; axée sur la direction soleil-terre, elle expliquerait la plus grande fréquence des baies aux environs de minuit*.

Enfin, il faut rappeler une propriété qui est également relative au caractère de localisation en longitude de l'activité N. Nous avons vu (chapitre VI. 2. 1.) qu'il existait une variation saisonnière de l'amplitude journalière $a_{\max} - a_{\min}$, celle-ci étant plus grande en hiver qu'en été, malgré l'équivalence des influences moyennes de l'activité solaire en ces deux saisons**. Il ne semble pas qu'un phénomène analogue à celui que nous avons trouvé pour l'activité J puisse jouer ici; car la variation de déclinaison solaire entre hiver et été, et donc la variation de déclinaison

* Il est certain que, à hauteur de l'anneau, la perturbation en ΔH est la plus forte du côté du jour, et on pourrait en conclure que c'est de là qu'il partira le plus de corpuscules. Mais, ce qui importe, semble-t-il, ce n'est pas la variation du champ en chaque région de l'anneau par rapport à une valeur antérieure, mais la dissymétrie introduite. De ce point de vue, et si cette hypothèse est exacte, les corpuscules auraient tendance à s'échapper là où le champ est devenu relativement le plus faible.

** Nous noterons un fait qui souligne la corrélation qui existe entre l'amplitude de la variation journalière de l'activité et les baies. Selon P. Rougerie (39), les nombres des baies pour les 35 années étudiées au Val Joyeux sont de 1579 en hiver, 1587 à l'équinoxe et 782 en été. Il y a donc un bien plus grand nombre de baies l'hiver que l'été, de même que l'amplitude de la variation journalière est plus accentuée l'hiver que l'été. L'effet est seulement sans doute beaucoup plus accentué sur le nombre de baies parce que le critère de sélection de celles-ci élimine les baies trop faibles ou mal formées. Nous avons personnellement observé un effet analogue sur les enregistrements de Port-Martin, Cap Evans et Cap Denison où les baies sont beaucoup plus régulières et mieux "formées" en hiver qu'en été.

du sommet du "creux" du faisceau corpusculaire, ne semble pas pouvoir favoriser le départ des corpuscules vers un hémisphère plutôt que vers l'autre par dissymétrie dans les ΔH provoqués à la hauteur de l'anneau. D'ailleurs, cette variation saisonnière de l'activité ne semble pas correspondre à une diminution de l'intensité moyenne de l'activité, mais plutôt à un étalement plus ou moins grand de l'activité au cours de la journée. On peut donc se demander si cet étalement n'est pas dû à un effet d'ordre "géographique", c'est-à-dire à un étalement plus ou moins grand des conditions d'éclairement solaire suivant la saison; tout se passerait comme si le phénomène "primaire", que représente l'arrivée directe des corpuscules ou ses conséquences, s'étendait sur des zones moins grandes quand la nuit est plus longue que le jour, ou encore comme si la nuit favorisait un effet de concentration du phénomène primaire.

CONCLUSION

Une question précise avait été posée dans l'Introduction : l'agitation de jour diffère-t-elle de l'agitation de nuit ? Une différence très nette entre les deux agitations apparaissait en effet dans l'aspect morphologique des enregistrements magnétiques provenant de l'intérieur de la zone auro-rale.

Des éléments de réponse ont été donnés à cette question tout au long de la première partie; et, à ce stade, les conclusions générales ont souligné que des différences entre les deux agitations apparaissent non moins clairement dans leurs propriétés statistiques :

- différence dans leur réponse à une même activité solaire,
- différence dans la localisation de leur région de plus grande intensité,
- différence dans la variation saisonnière de cette intensité,
- différence dans la phase de leur onde journalière.

De ces différences d'ordre statistique, la plus importante est sans doute celle qui porte sur la variation saisonnière des intensités. C'est celle-ci que nous avons retenue comme critère pour attribuer tel ou tel maximum à tel ou tel type d'activité; et il suffit de regarder la figure 7, représentant la variation journalière de l'activité en six stations, pour se convaincre de sa réalité. Par ailleurs, bien que l'activité J ne soit plus un phénomène saillant qu'à l'intérieur de la zone auro-rale, il faut souligner que son aire d'expansion s'étend jusqu'aux latitudes moyennes, et qu'en été, elle y devient même, par situation calme, un phénomène équivalent en intensité à l'activité N (cf. à ce sujet, le second tableau de la page 62).

Différentes dans leurs propriétés, ces deux agitations ont-elles une cause également différente ? Il est évident que la cause première de l'une et de l'autre peut être attribuée au rayonnement corpusculaire solaire; mais c'est au voisinage de la terre que se différencient, par l'action du champ magnétique terrestre, les modes d'approche des faisceaux et, par suite, les conséquences observables sur la terre. Et il serait possible de séparer schématiquement ces faisceaux en deux classes.

- 1 - Les premiers sont ioniquement assez riches pour provoquer un orage observable (avec ou sans première phase). Ils contribuent pour une part importante et immédiate à l'activité N ; mais parce qu'il y aurait formation d'un anneau équatorial (ou renforcement, enrichissement ionique d'un anneau préexistant), il y aurait comme un potentiel d'activité N mis alors en réserve.

Une activité J violente serait provoquée par ces faisceaux; mais elle ne serait pas de plus longue durée que l'écoulement du faisceau lui-même.

2 - Les seconds ne sont pas ioniquement assez riches pour provoquer un orage observable. Très probablement, il n'y aurait pas formation (ou enrichissement ionique) d'un anneau parce que la stabilité de l'anneau dépend de son diamètre qui ne peut être trop grand. De ce strict point de vue, aucune activité N ne serait donc provoquée par ces faisceaux.

Par contre une activité J persistera tant que la terre sera balayée par eux; et, en ce sens, n'arriveraient sur la terre, des faisceaux ioniquement pauvres, que les charges qui passent au travers des régions Q, tout le reste étant rejeté dans l'espace interstellaire.

Simultanément à cette activité J - et peut-être provoquée par la dissymétrie introduite sur l'anneau par la présence d'un front corpusculaire proche - il y aurait une décharge lente et sporadique de l'anneau sur la terre, qui provoquerait une activité de type N, spécialement sous la forme de baies.

De cette reconstitution schématique du phénomène, nous soulignerons deux traits. D'une part, il y aurait une arrivée directe et immédiate des corpuscules solaires à l'intérieur de la zone aurorale; ce phénomène, presque constant, se ferait sentir avec une intensité très atténuée jusqu'aux latitudes moyennes. D'autre part, il y aurait à partir de l'anneau une arrivée indirecte et retardée de corpuscules solaires sur la zone aurorale; ce phénomène serait en majeure partie responsable de la variation journalière de l'activité N.

Ceci ne préjuge pas naturellement de toute la part de l'activité N qui est due aux orages proprement dits, pendant lesquels des corpuscules solaires arrivent immédiatement sur la terre, sans doute à partir des parois du "creux"; mais il ne faut pas oublier que les orages ne contribuent que partiellement à une activité définie à partir des données de tous les jours.

APPENDICE

VALEURS D'INDICES K

On trouvera ici les mesures d'indices que nous avons été conduits à faire pour mener à bien ce travail. Il suffira de rappeler que la valeur d'échelle utilisée à chaque station pour ces mesures et sans laquelle des indices n'ont aucune signification est indiquée dans le tableau I.

La présentation typographique en est claire par elle-même; les huit indices tri-horaires de chaque jour doivent être lus verticalement, et les jours du mois sont groupés de sorte que le quantième puisse être aisément repéré.

CALM BAY							CALM BAY (suite)							JAN MAYEN (suite)						
Sept. 1932	-6332	53564	4-434	32455	54465	56455	54444	34463	54324	57655	55565	44434	-5353	34-66	24236	5-435	22153	57424	-	
	-5433	52654	4-633	23354	46656	56545	44454	36445	13324	56655	65564	44434	-2534	22-55	14-47	5-543	22332	54332	-	
	-3335	63433	3--53	22346	43566	56425	42532	43445	22225	56656	55743	41222	-2233	22-53	34-25	45514	11101	35424	-	
	-3425	53333	3--3-	42363	25466	55454	44522	46464	41335	55545	55333	33322	-22-2	20-43	33-54	44433	21113	24323	-	
Oct. 1932	5443-	73222	2--2-	21444	24565	37432	24523	35343	31244	65476	45534	3-342	311-1	30--4	22-54	44441	2-22-	-333-	-	
	5353-	52362	1-334	1-657	66777	26546	32222	37347	31133	47766	26676	3-1-7	43130	11-54	10-75	-4352	1-224	5331-	-	
	43347	35653	-2532	22353	54657	564-6	56353	3-535	21343	74755	65655	664-5	66433	11-75	50-67	674-1	1-337	46-5-	-	
	34455	55453	-4343	23554	35655	533-4	55333	55432	32246	56655	65564	364-7	42435	7-465	62575	-63-1	22335	44-2-	-	
Nov. 1932	--55-	53345	45325	55552	64434	33435 3	65544	642-4	41454	64645	55545	33625 5	-6554	46421	22544	53435	32655	77755 5		
	--54-	32435	55325	55432	53345	34434 4	44554	643-3	41425	34645	44244	12525 6	65412	64332	21226	43257	04444	75656 4		
	--33-	21325	33315	55243	43443	33424 3	54455	763-3	31335	35644	53322	21326 5	44311	72-20	10207	32246	06644	4545- 4		
	--33-	12234	42325	54334	54444	35324 3	54545	643-3	31344	24542	33423	22234 4	45212	42-10	10205	43233	234-4	5564- 2		
Déc. 1932	-63-3	21233	22315	55266	54574	35123 4	63435	742-2	31443	43443	25333	23134 5	4-321	51-11	11204	32244	144-4	5445- 4		
	-45-4	22347	23227	66655	74565	33116 3	55463	352-1	41243	44333	25232	25134 4	4422-	54-3-	11-12	22272	-63-5	4655- 4		
	-24-4	32524	54234	34445	44364	33133 2	63655	45-12	53544	56564	33332	26255 5	-522-	64222	21-74	12451	4-6-6	67766 4		
	-43-3	42334	43235	35326	23353	33143 2	54434	42-32	22464	64444	34443	24275 5	5654-	63633	34466	15465	47765	66667 6		
Janv. 1933	5-355	44342	34554	55444	43-22	-1365	54544	434-4	33577	44357	54243	52654	45355	31032	3324-	31168	-8665	646		
	3-345	4433-	23444	55444	33235	-3265	64433	345-3	43755	43336	45145	53565	35115	34154	010--	20-55	-6645	75-		
	5-554	32232	13464	45433	3312-	-3253	64534	234-2	32663	43346	33131	43554	15112	14141	010--	--34	-7665	64-		
	4--33	2322-	33453	54441	31-2-	-1344	45432	235-3	33554	343-6	42123	45353	25122	04220	010--	--44	-5-66	54-		
Févr. 1933	44-13	12112	1-464	67343	12143	-1421	55322	234-3	42641	23324	42232	35453	13331	13331	1214-	2--65	64-65	54-		
	32-23	16113	1-463	76757	5412-	-3571	65332	233-3	34634	23244	24333	35645	14231	13132	2113-	10254	74-64	32-		
	35553	34433	54336	65645	33-2-	2445-	54342	234-4	43574	22244	33326	53545	14260	12431	21164	2067-	78776	831		
	32364	32323	24464	65334	42-3-	1323-	43333	335-2	25554	43354	42536	35533	55651	33545	33336	2166-	757-7	866		
Mars 1933	44434	44454	44367	45424	43332	46444 5	45644	43474	55543	35644	46565	46534 5	5--32	40455	722-2	42777	77566	412-4 -		
	43344	33544	23365	44534	33332	55345 4	34345	53354	55332	24644	45464	55553 3	4--32	30134	534-2	21747	77676	344-2 -		
	43344	22454	23333	44433	21313	44443 4	44433	32263	44332	23543	43273	53433 2	2--22	20011	343-3	10747	55755	35333 2		
	43433	-1453	23343	44333	12333	23223 3	43224	33264	-4342	25534	33555	-4333 3	--32	11111	243-2	10335	55666	44443 4		
Avril 1933	51221	-1455	32367	46641	43223	44533 3	43342	32444	44132	45633	34656	26344 3	--321	42412	-3323	24544	54454	35555 5		
	42051	-1265	51476	465-2	13123	43423 6	44333	42333	23432	23454	24475	54233 3	4-43-	3231-	-4441	33457	45773	45644 3		
	47343	2334-	31557	46443	36533	75734 6	43333	43576	36453	32733	52533	44434 5	55454	42313	43330	16476	45766	36644 3		
	33433	42444	41376	43341	22214	44545 5	44332	33435	34323	45443	22634	67434 3	6-444	35335	31424	45786	76775	22-74 6		
Mai 1933	65453	24332	-1434	43333	23533	77754 5	44534	55654	42464	44564	43255	64334 2	54-4-	22353	132-3	1-65-	-65-	54554		
	66523	53432	32324	43444	15455	76756 5	43424	64533	21255	44564	53355	64322 1	54--	4232-	132-3	3-55-	-55-	454-2		
	44321	53322	21214	44234	14454	55544 4	22215	53322	21454	35453	54554	33222 0	53-2-	4344-	112--	-665-	-54-	302-2		
	34322	52420	31315	44333	22334	45433 2	14115	43332	22545	23443	54653	33333 2	44-2-	4234-	312--	-544-	-5323	32222		
Juin 1933	-3431	72321	21203	42242	13444	44642 5	14216	53332	11665	14464	73433	41221	34-34	35-5-	31343	-754-	43554	43223		
	-2251	25231	20202	43163	16444	45665 3	13215	55551	12544	23525	71563	23312	43333	35633	21243	-544-	44444	-3334		
	67351	33535	21444	46452	25644	37752 5	33547	64233	54636	65556	53477	45324	6-435	46634	31242	-556-	64655	64545		
	43221	4232-	22265	22342	34656	56635 4	24444	-4442	23653	44445	43653	23322	5-513	54641	42-42	-67--	8--5	46635		
Juillet 1933	35233	22243	22134	42167	57766	664	57543	87223	50353	55645	35435	22---	24565	74323	41626	34-35	44334	01---		
	24325	43244	22134	31145	56555	663	34445	55312	20525	23535	52310	01---	54333	54222	21433	23-32	22222	2--- -		
	34213	14243	1-024	30034	56665	533														
	34-12	14231	0-134	30155	45466	643														
Août 1933	23521	13331	03243	20255	78444	531	53444	44433	31442	44-53	2444-	2--- -	4							
	25340	13132	13327	11264	68554	621	64454	33433	32354	-4-44	3442-	2--- -	4							
	35340	23442	23353	20475	67577	461	66576	53422	33643	-5-63	4443-	--- -	4							
	33531	23443	22434	22264	74675	745	66335	63222	24447	45465	25531	1--- -	6							
Sept. 1933	45342	31434	63445	42466	57555	43554 5	56246	36353	-442-	54456	52321	41464	44-44	23443	34677	33367	44232	527-3		
	53443	31244	33462	31445	56556	43544 5	55366	4-323	-354-	75533	33402	24253	75-32	34453	33757	33356	43143	52--5		
	32342	31132	34452	32435	66674	54353 3	55444	4-121	-445-	75545	43001	33352	64-21	32351	22664	23246	42131	52--3		
	33333	21222	34434	21345	66555	56544 5	6343-	3-111	-335-	55442	42201	31444	45-21	12452	22443	1-244	42123	33--3		
Oct. 1933	33322	42311	33343	15344	77657	36476 3	54423	33112	2434-	65443	32103	22444	4--34	23343	32533	2-255	52223	3---4		
	42222	71411	22542	12456	76777	35544 3	-3344	15321	24445	64443	22304	22443	4-443	23345	23-33	--354	33224	4---4		
	43354	33322	34251	44566	47675	46632 5	43354	24554	35435	76744	13203	24342	6-442	13535	55-33	5-333	33225	4---4		
	44322	23324	23212	22664	64744	34553 4	43464	44534	34676	77766	52105	14153	4-334	34424	35665	54653	32525	33444		

MATOTCHKIN SHAR (suite)

Mars 1933
44340 202-- 61222 20477 57677 22442 4
21221 10--2 31230 20545 54565 11523 2
21231 11--1 23241 11435 45563 23333 2
22221 11--1 43323 01344 45444 46343 2
22210 41--1 43323 03344 45354 26364 2
33543 41--1 33630 13567 56775 46663 4
55543 33--6 34550 46676 56786 36553 5
45323 23--5 32213 14785 75774 34653 5

Avril 1933
33453 62342 21--2 5677- 56455 41642
30442 25333 0--13 54654 45332 21102
31322 22233 2--12 44445 35432 31111
33522 34333 2--23 35444 34323 42221

22413 34334 3--43 55564 35533 51222
54316 26645 1--43 566-5 46555 42225
56654 65535 3--66 766-6 66655 65548
55434 55431 3--56 677-5 77664 36526

Mai 1933
46633 67301 --153 55742 33222 10615 5
23343 5320- -1215 22522 22111 11213 4
32333 4331- -0224 22532 32211 -1124 4
42433 4322- -0444 22431 22212 -1024 4

62334 5332- -0531 42542 13212 11144 5
84444 3231- -0443 54332 32221 15155 4
73666 6240- -0574 55562 44411 66174 5
75435 6131- -4566 66465 25422 06154 4

Juin 1933
53323 12--3 12666 21146 33020 50562
63211 1--41 31732 21114 22014 31354
33421 1--31 20441 22233 22011 32232
45322 1--32 22443 22143 41112 33243

44312 0--32 21621 02234 42111 15543
54331 0--33 02634 13143 12114 54545
55431 1--34 35652 32252 11115 31533
42322 2--22 26754 32454 41405 14533

Juil 1933
25623 31365 23--1 13524 22373 25311 2
02112 32134 3--10 12321 31362 33321 1
23211 21135 2--20 12322 21252 33211 2
32122 22145 4--21 24523 12454 14222 2

22241 11134 4--10 25532 24444 14233 2
32221 33332 4--10 12232 23553 52251 1
41250 43356 3--41 33541 32522 25443 5
42231 13554 3--21 34352 11745 67225 1

21104 5443- -0243 22363 43124 52111 0
20101 631-- 00053 22443 32223 330-1 0
11103 511-- 10234 24332 33223 211-- 0
13015 322-- 02533 12342 43443 222-- 1

02106 422-- 01444 14344 51532 312-- 1
12115 543-- 01443 33523 70463 421-- 0
22237 620-- 23636 45756 62675 54212 4
13145 265-- 33763 43646 42553 34301 4

DICKSON

Déc. 1932
--241 33--4 111-- --312 11120 56321 6
--231 10--2 111-- --421 00100 45001 4
--131 11--1 122-3 --322 00001 43212 4
--331 10-32 112-4 --422 11233 34212 3
--040 21-46 40--- -5461 33235 55544 4
--151 20-67 40--- -6474 06455 75545 5
--644 41-55 51--- -8562 16456 66757 7
--3535 61-55 60--- -4370 00116 53755 7

55430 14101 01204 3-115 21665 5--56 5
43210 32201 20103 3-125 12444 54-63 2
33211 52200 10116 -1134 03443 54--3 2
23221 62300 20116 -3234 12454 43--3 1

Janv. 1933
63530 73430 21104 -3173 13556 5--- 5
65241 57453 20324 -3465 37566 7--65 6
65420 55555 21575 -2562 56755 7--75 4
66310 53221 22266 -1352 56755 --476 6

Févr. 1933
33133 22022 000-2 20047 67776 745
13112 12012 110-2 10034 76556 643
23002 13122 12023 10025 56555 532
1411- 04221 03024 20165 85478 542

14431 13342 03135 10376 77776 541
27262 16155 41147 10467 77776 650
32661 44662 41175 10587 87787 761
42530 32655 30245 10587 77777 756

DICKSON (suite)

Mars 1933
34-3- 10131 50232 30577 -7567 31453 4
32--1 10022 41230 20646 -6567 21523 3
21--1 10121 33241 11545 -5565 44334 3
22222 11111 43333 05456 -6565 55454 5

5-411 61401 54535 15477 -7675 26566 3
5-651 55402 54652 3578- -7676 57775 5
6-654 25447 45550 5-67- -7776 57664 6
4-4-2 13517 34313 1588- 76764 44674 4

Avril 1933
34552 63641 21103 57674 54454 42543
31552 35333 11113 45544 54443 21311
42432 43343 31123 45546 45633 41221
43632 45454 32235 46555 55434 52322

33614 44456 41153 67675 37645 62243
65556 35567 31155 57775 58776 54137
67664 77747 31268 87786 76755 86558
57435 78431 21158 77776 86755 47528

56533 67301 21264 55742 23312 11515 5
43433 53211 20215 22632 32112 01304 4
44444 54324 31435 33744 44222 22235 5
54545 63333 20555 43642 44323 32135 5

Mai 1933
73545 64411 51543 52652 24223 22256 6
84555 51510 61664 56644 44322 16266 5
74666 62501 61685 75773 44421 07185 -
75546 72112 14676 66565 35522 06175 6

Juin 1933
63322 12263 21665 32146 33011 406-3
52211 12251 2274- 32225 32022 314-4
54523 23452 3155- 33446 42121 453-4
55532 13653 42554 34355 54224 543-4

65422 13343 41632 14345 52221 25--4
66542 12445 13755 05154 32115 45--6
64431 12-34 36-54 42253 31217 41--4
43331 33542 26-55 42464 51517 25543

24521 ----- -132 13514 23374 37422 3
22123 ----- -121 11422 32262 23432 1
34123 ----- -132 23424 32164 34322 3
43123 ----- -3-2 46534 33665 25333 3

Juil 1933
33----- -121 36544 34765 36244 3
4----- -322 24554 4-675 62352 3
5----- -352 44642 3-633 47544 7
5325- ----- -222 35553 12835 77325 1

21113 6334- -1253 23453 43134 43111 0
20102 6421- -1243 23443 42234 3-111 0
12224 5221- -1445 26553 54454 33-21 2
24126 5443- -3644 13464 54554 43-32 2

13117 5443- -1555 15464 62542 51231 1
13206 765-- -1665 45645 81675 52323 0
13357 732-- -4747 56757 73775 54323 5
14136 365-- -2263 54767 52654 25401 5

COLLEGE

Oct. 1932
2 21-13 11111 32210 51321 1-211 2
1 11-23 11003 42140 51222 12204 1
1 01013 31107 77032 71434 14115 3
2 01024 41406 75346 74765 17306 6

2 00155 00417 47267 65675 47014 5
1 11166 11317 34138 44625 23004 2
1 10221 21114 13116 23231 01011 1
1 1-221 21114 12016 11231 01022 1

Nov. 1932
13112 11010 10102 23222 10000 00001
53112 10012 00112 42111 11001 01021
74603 30011 12172 57323 31000 40243
65533 31201 15553 77231 31103 50662

55213 13200 15664 67564 12602 32661
32333 02011 14551 63354 11006 21351
22131 02210 12222 42221 01012 01121
21121 01110 02131 42211 10001 00011

Déc. 1932
01110 11021 00034 42201 00000 33010 3
01111 00441 01024 32211 00000 24001 2
20000 20652 22115 34421 01001 32222 5
41442 30364 34276 67645 12446 26223 2

21041 20446 41475 46660 21214 46644 3
11020 00152 00585 57230 12102 23523 2
23100 00112 00376 34120 01113 31203 3
12110 10322 10255 32120 00102 20202 3

COLLEGE (suite)

Janv. 1933
33110 02100 00102 10002 01343 24432 3
32100 42100 00004 20035 01222 33323 2
24100 50200 10006 33034 04423 42222 1
33310 61511 40105 44425 04353 56755 0

54310 72541 11004 43053 15556 65663 5
51010 34020 000v1 20061 05336 56564 2
42000 14000 01012 00120 05322 54332 1
32100 11000 00022 00010 03322 24422 -

Févr. 1933
12011 00010 00011 00025 3-353 632
12001 00021 00011 00011 66233 532
04001 02220 01023 10022 37553 222
26321 06321 03045 31176 46577 652

05320 02420 02165 00166 76775 520
06120 01022 00005 00656 76764 331
02110 10000 10132 00153 35573 321
11100 11000 00026 00152 33453 421

12100 00111 30221 00254 34344 01322 2
11110 00011 21151 00634 54454 11222 2
01211 00000 13151 00534 54347 55242 1
33331 01001 44353 13676 77777 66464 6

Mars 1933
32320 30101 54625 06555 55665 17555 2
20411 30201 12620 01756 43763 25354 2
12200 00001 12220 00255 23361 13210 2
00100 01011 11110 01353 22441 11-12 2

Avril 1933
22222 22220 10001 45442 33332 21311
32422 32212 00004 45634 32622 21211
22451 52344 40003 45456 26523 30222
43753 43474 10333 47677 76215 40412

23613 46355 30044 67676 25635 61131
11312 25525 10023 36446 33353 21003
22211 23311 10023 52334 32220 21103
0211- 22210 00124 23432 33222 12204

35332 54111 11123 23522 32122 21304 3
32224 53111 11314 21422 22111 01204 5
33334 35115 10326 11714 22210 00024 5
46725 76223 10434 45732 11211 10005 6

Mai 1933
71536 74200 20333 42551 02122 02044 7
-1262 21210 10142 32221 02101 02165 5
72443 20100 11132 22231 21011 02133 2
42222 30100 02232 22222 21110 02031 3

42312 11243 027-3 --124 21010 30332
53301 12250 226-3 --224 32012 21342
52711 12450 10442 --415 41120 55332
47450 02662 00563 --335 50003 65043

Juin 1933
74430 02242 40541 --254 40101 14754
52110 00232 00621 --024 11002 14751
21110 01202 12321 --121 10113 01211
21110 11221 02421 --121 10202 01221

23433 31343 54332 12422 3336- 24222 2
23333 31244 44222 23532 2327- 24322 2
53323 31283 42122 23643 2317- 23312 4
33322 51274 73322 35546 5278- 17424 6

23363 21282 63001 37633 2577- 27264 2
32153 23233 72201 13323 2477- 43231 2
22121 22343 22112 34321 1243- 33212 2
32112 12223 22112 23222 1252- 24222 1

11002 51201 20142 10232 22023 10000 0
11002 42211 20132 12442 31225 11110 0
00003 40000 10544 47453 52555 20020 0
02006 64120 00564 03463 76563 14100 0

00006 63400 00574 06276 70740 50000 0
01107 31110 00561 03622 60540 10000 0
01017 20001 01422 12523 31341 10000 0
01003 11000 01321 12312 21222 00000 1

KANDALACHKA

Sept. 1932
24100 10341 20101 00344 32244 44343
2-101 21421 -0210 01122 23234 33111
11211 31211 11121 11123 11223 32112
21121 32121 01-10 11132 13334 32122

3311- 71111 00112 11133 03345 232-2
41215 61441 01110 00453 24666 13121
11121 53531 20120 02122 34656 52241
22241 54322 23022 03553 34555 42134

GJOÅHAVN (suite)											
Oct. 1904	11111	22521	11133	31100	25101	21301	1				
	01013	23425	30121	20000	12301	11100	4				
	13011	25332	02111	20230	43101	01403	3				
	22222	13322	01211	21110	22221	02221	2				
Nov. 1904	24212	34322	12442	31222	32112	13232	3				
	24323	33432	21442	33132	33335	24343	3				
	33323	34433	22542	22122	33334	23342	3				
	32212	25322	21332	21111	42123	32123	2				
Déc. 1904	11214	21010	01011	32100	01102	12211					
	11114	21013	01010	45400	13102	22111					
	11244	33311	10101	36420	01002	12211					
	23334	21110	10000	23300	01003	12211					
Janv. 1905	24433	22111	11110	32400	12214	22222					
	35343	23421	21122	44320	23112	43221					
	35343	32321	31112	34211	21122	33232					
	23342	21111	21113	33110	11011	32222					
Févr. 1905	22213	20011	10103	10111	11111	13222	1				
	31222	10011	00112	10001	20002	21013	0				
	22213	20102	00025	10100	20012	22122	0				
	22212	10112	11002	50111	10111	11222	0				
Mars 1905	32422	32132	11111	22112	10111	21122	0				
	33432	32132	22133	32223	21121	22332	1				
	23442	21132	12133	21222	21111	23321	1				
	12232	11131	11134	11112	11111	32221	1				
Avril 1905	00111	41102	21103	04102	12102	20121	0				
	02132	20001	21203	03102	14013	40022	0				
	11123	20001	21121	04302	15012	10141	0				
	22222	12101	21132	03211	14122	20232	0				
Mai 1902	11142	31102	21222	12122	24123	21122	3				
	12144	32121	24122	13333	24222	23343	3				
	11124	32122	23231	13323	22133	34432	4				
	11124	11112	22121	12223	22132	12221	3				
Juin 1902	22532	31321	10212	23110	10331	011					
	14622	31214	10212	26200	01341	020					
	11526	53232	00123	22101	02521	210					
	11744	23122	11133	23320	22313	211					
Juillet 1902	23545	21332	12243	33211	21333	421					
	23643	54333	22244	44322	31333	432					
	32453	32433	32244	43212	23334	433					
	3-534	23223	12144	34212	34223	222					
Août 1902	02532	42322	12223	31211	11121	02101	2				
	03343	44222	02311	21010	10221	01010	1				
	14333	24211	13112	63130	10131	02010	1				
	23433	24321	12222	21131	21211	11112	2				
Sept. 1902	47233	26432	33323	22223	22332	13234	4				
	37334	45533	33325	33343	42333	24143	5				
	48335	45433	33344	33243	23422	32144	3				
	26323	44322	33333	23232	23232	23144	3				
Oct. 1902	74433	32212	12223	21012	32111	22134					
	65432	22401	31313	11012	31001	41121					
	54363	12001	21213	11123	33001	32121					
	53224	21211	11113	21122	31110	22222					
Nov. 1902	53434	32323	23323	31223	42221	34343					
	63553	53333	34354	42134	43223	65444					
	75535	44332	44255	41244	42213	54345					
	63434	32232	33155	32234	22212	34344					
Déc. 1902	44-44	435-4	34544	33424	44544	423					
	334-5	34-5	42443	34224	55234	252					
	333-4	33423	32423	22323	-4223	231					
	23333	33532	43334	43443	14224	113					
Janv. 1903	43433	32533	43344	24233	43324	110					
	55334	43533	44334	43333	43343	112					
	55344	44655	57654	44335	53435	432					
	55464	34655	6--43	34444	45534	312					
Févr. 1903	35535	35453	33453	32344	42-43	23234	5				
	23214	34442	33434	32133	32-22	12133	4				
	23222	25242	33323	20234	42131	21023	4				
	23223	23222	33333	30134	21230	11234	3				
Mars 1903	31214	24323	33543	20132	23231	11122	3				
	43225	33333	34543	11121	33111	21342	4				
	54334	43534	45634	32344	45322	22443	3				
	64344	34655	46533	32443	44332	22334	4				
Avril 1903	44434	64464	54333	33343	3222-	34-22					
	42234	63463	24222	2223-	211-2	2-322					
	23124	54255	42444	21132	402-2	2-322					
	23333	44254	41415	10412	422-2	2-021					
Mai 1903	33234	65255	32235	12512	213-3	1-122					
	23224	34344	32223	14512	222-1	4-133					
	23344	44455	34324	15413	232-3	5-123					
	44346	35554	44345	32423	332-3	4-242					
Juin 1902	42012	2221-	-232-	20101	11213	41213					
	32111	1231-	-232-	30212	11213	42313					
	51300	3332-	35122	31301	13212	32334					
	42110	2321-	23222	31320	04132	34154					
Juillet 1902	31130	3221-	23214	12211	43032	22143					
	21121	3311-	32123	01121	12023	32243					
	31122	4312-	33223	01121	13132	32353					
	-1022	3311-	32242	12220	13033	33343					
Août 1902	-2111	0--23	15112	-10--	211--	43222	0				
	33132	0--12	13312	-21-0	11244	63121	1				
	41142	3-431	03222	311-0	10345	52031	2				
	21133	2-321	25012	212-1	20334	42111	0				
Sept. 1902	21132	1-421	13001	11--1	11134	41111	1				
	-1221	0-522	12201	22--1	00034	32231	1				
	-2211	2-323	23212	21--1	02154	32211	1				
	22111	3-222	32102	11--1	03443	31220	1				
Oct. 1902	-1231	01213	4211-	123-2	-4343	42231	1				
	00431	11111	42102	11301	-5443	22131	2				
	31232	1-111	31231	4-401	-5443	33223	3				
	22131	1-031	31231	41400	-5223	33111	5				
Nov. 1902	12112	1-033	31111	32311	-2223	22221	3				
	12112	1-123	30011	12211	-2333	32210	3				
	12222	1-134	21111	03011	-3344	23220	3				
	02320	1-233	21011	13023	-3435	33322	3				
Déc. 1902	32233	22222	33222	33--	-43533	34335					
	23333	34121	3231-	-32-5	43533	22323					
	25243	42033	22212	122-5	32333	32222					
	14241	21023	23202	223-5	33323	22-12					
Janv. 1903	03222	31013	14001	133-4	34313	13-33					
	24231	21123	25000	232-4	34313	12-2-					
	13241	41213	24102	234-5	24324	23-4-					
	23342	32332	32323	246-5	35443	24-4-					
Févr. 1903	53-44	21233	34222	23232	32355	45436	5				
	4-243	32322	33314	32542	33234	25453	6				
	33332	12222	21113	23332	13124	34445	4				
	33332	21222	23303	-3223	12223	25436	6				
Mars 1903	23132	20231	43322	01223	32233	34345	6				
	33232	21211	53222	12333	22244	44454	4				
	24333	22422	43333	34534	43543	445-5	5				
	-4434	32333	43434	33433	33553	455-5	-				
Avril 1903	65331	353-3	-3-34	-5244	36566	54444					
	43321	23323	22-33	34353	44475	53433					
	43322	33323	21343	34353	24544	44433					
	44311	32333	21454	33353	33555	44334					
Mai 1903	33322	23422	23464	53343	44564	54333					
	44433	53423	25566	54445	65765	54434					
	54443	44444	45556	55655	75655	54445					
	45433	45444	-4356	64545	65655	55455					
Juin 1903	46444	43445	35645	44454	34444	444-4	2				
	44343	42434	35533	34244	43655	33633	3				
	34433	32344	34333	33243	25644	44543	3				
	34433	33443	33533	43243	34544	45334	2				
Juillet 1903	55533	33365	43434	43-53	36554	55--4	3				
	55553	44575	56545	64-54	45655	45-34	4				
	55646	46676	56555	63-54	75655	76--6	5				
	46456	47575	65666	64-44	65555	465-5	5				
Août 1903	45566	44344	55343	35--4	5545-	--33	4				
	34356	44333	44344	33--4	3334-	-533	2				
	34355	34353	33233	33-25	3253-	-4324	3				
	44346	33444	34333	44-45	3253-	-3334	3				

CAP EVANS (suite)							CAP EVANS (suite)							CAP DENISON (suite)							
Juin 1911	34213	24314	-3423	22111	23231	00120	Avril 1912	11323	54243	22324	33325	22122	21-10	Juil. 1912	32145	32-22	11020	12233	23221	33202	2
	32313	22416	-6443	32114	34321	10221		11224	41224	12224	34213	12210	11210		32133	23121	10011	11212	22111	23111	2
	32115	32215	-4543	32222	44423	01221		01332	23224	32204	-5303	13222	02100		30032	11020	00000	-0011	11100	12001	3
	3-013	52003	-4342	22233	44320	01332		30113	24115	13224	-5511	02021	13113		10224	60030	01000	-1001	20100	21011	3
	32123	43103	-3431	21112	33420	10412		10214	33213	12114	43232	12123	12123		40154	61430	00000	0202-	11101	11023	3
Juil. 1911	31133	33214	-3431	31111	32-10	00011	12323	33223	11023	34211	02211	11102	20254	20210	00000	04-10	11202	33021	2		
	42144	44234	-4234	311-2	43-01	21211	32225	33122	12132	33332	12221	21101	00344	32211	10001	02-01	10002	11000	2		
	32144	2234-	33233	30123	42-10	21212	22324	43222	2-342	-4342	22431	2-110	11345	32311	00000	13212	10011	21100	4		
	34323	22432	42313	01343	33211	11254	123-4	33321	04542	23113	22001	01100	43321	33222	21123	25343	34533	32333	3		
	43412	2-423	23131	23353	23311	12232	322-2	23313	04343	22201	21001	12310	42221	33121	21122	14333	33423	33322	2		
Août 1911	54722	23422	65231	13545	32320	10343	34414	22212	055-2	32022	01010	21210	20200	52010	10011	12122	32332	12311	1		
	43332	35532	33121	12342	14110	10634	01216	32412	044-3	21020	00010	31020	11300	31020	00020	04231	31213	03101	0		
	43321	35433	22131	22432	23110	10443	12325	32212	13333	32220	10001	11021	14301	30111	10010	22232	22621	23210	0		
	53342	44433	33222	3-432	-3241	22443	13233	43220	22332	-2211	21001	10022	13102	31101	00000	01122	15421	12320	2		
	44433	32334	33211	2-442	-2122	23543	24333	33321	23332	-2232	21011	11023	21103	31023	00000	11521	13332	13331	2		
Sept. 1911	43342	33425	33211	24332	43122	22443	12---	-4310	25432	21231	20121	11013	22314	21212	11121	42622	44332	23332	3		
	21234	32011	101-1	23313	11244	35323	31411	10344	32112	-0110	02022	11332	32242	33343	42333	23533	23444	32224			
	23333	33221	21211	32113	-355	33422	43521	20444	43031	-0010	10131	21111	31142	32133	33331	32333	23344	31213			
	32422	32213	02433	42113	22354	33433	45413	20533	23232	-0121	21131	14332	11021	1011-	13120	11322	22242	21101			
	21432	21012	11431	32112	01465	44323	42311	00342	22121	-2110	10221	14333	00033	2102-	13010	01502	12250	01002			
Oct. 1911	21322	21121	10232	13231	11644	33222	32212	00543	32131	-1100	12320	22332	21022	21021	02100	03402	12220	01001			
	22222	21121	11212	12132	01634	44432	13111	00344	22-30	-1201	11210	10222	10020	01021	00100	04222	21310	02000			
	33233	21212	11111	31131	10544	44323	23222	11534	222-1	-2212	11322	11332	01020	01100	12300	15231	23340	31110			
	11245	32312	22112	22141	11544	54323	23322	12444	3222-	21112	10321	13322	21313	22323	23332	24331	25243	32223			
	2-212	21313	23322	33--5	44432	1422-	2-046	22311	20011	21322	21111	13011	42332	43432	43345	43323	53433	34332	3		
Nov. 1911	32201	12214	33444	5--5	36521	2333-	3-045	22221	12011	2-111	21101	23100	62333	22333	33444	34213	33433	22443	2		
	23103	23223	32223	3--5	54311	2223-	2-153	12120	11012	32014	32310	22123	41111	00111	13343	22110	22421	12211	1		
	21113	23213	33512	3--5	55321	13221	2-134	41120	00002	32012	31101	3211-	30010	01-21	32323	32100	12211	00311	0		
	22013	22113	43423	5--4	53332	14112	3-244	31421	00011	02023	21101	3221-	30020	22201	21134	21020	11101	00103	2		
	12012	22213	33222	3--4	54312	12211	1-333	32321	01011	13-11	11103	32201	21110	0200-	31032	22001	10000	01111	1		
Déc. 1911	21023	11333	43233	3--4	55433	22211	2-434	32321	10012	121-2	21113	32212	20201	1121-	21244	33103	10121	12312	1		
	32122	13233	34334	3--4	65532	333-1	-1434	33211	10011	22112	21113	32101	13422	23324	33343	43125	33233	33333	3		
	11222	42332	45333	31423	33334	32233	41321	-3213	20113	25253	24522	32232	42334	34335	54444	64545	24452	55533			
	23122	14453	52324	32332	23322	12221	62311	-2022	20132	25132	25412	32323	32223	13224	42344	53344	24342	54423			
	14221	34332	32234	32434	33332	02211	31311	-3221	21020	13232	34343	13213	33211	11214	21123	31222	13321	42211			
Janv. 1912	14112	23333	41222	53543	32341	23221	11201	-1012	11020	14141	32323	14211	22010	11214	30031	22122	12321	21110			
	04212	23323	21310	34433	32130	32242	23212	-0110	10010	13131	33322	13120	11100	23214	40031	12210	02111	11102			
	13212	23234	33331	43543	42333	32243	23102	-2111	11010	12232	14322	13430	12103	2-203	21042	11221	12211	12111			
	22221	13433	33542	55544	34435	35443	22113	-2123	11111	11532	24322	23231	23223	2-333	32143	33222	12222	34121			
	22332	33444	64435	24543	44344	34443	-221-	33222	11121	43-32	43334	33322	33243	23444	34365	34443	23333	35332			
Févr. 1912	32454	33255	23455	43335	52222	44333	31141	33232	32232	12423	22333	32122	21032	31323	33220	32332	13242	21122			
	23544	33153	22455	43223	33233	32322	22022	2242-	23120	11423	22341	20011	22022	2242-	23120	11423	22341	20011			
	22243	33133	31533	33124	42222	21222	01034	3222-	24130	12512	22350	22001	01034	3222-	24130	12512	22350	22001			
	23433	22034	22554	34113	53221	22112	21022	22232	12110	14413	23330	11101	10031	12132	22210	15233	32332	32110			
	33334	23444	33464	33333	33333	22234	11032	322-1	24321	-5443	3444-	32121	21-24	32323	23431	26442	34252	42234			
Mars 1912	33433	32455	45454	53334	44324	33244	333-2	2233-	54345	34223	32323	33423	333-2	2233-	54345	34223	32323	33423			
	34543	33454	55554	3434-	543-4	44344	412-3	21-1-	22253	32111	12222	22221	412-3	21-1-	22253	32111	12222	22221			
	13544	42663	46544	34375	43435	43435	-11-1	11-3-	32343	43211	21312	12211	3	12122	11123	02332	-3211	11114	3		
	42423	34322	74243	42544	44532	35432	411-2	2422-	43354	43021	32222	-2213	2	21223	11113	01342	33222	10202	2		
	22322	34322	63322	22333	42313	33331	-21-1	1312-	32-43	33123	23432	-2223	2	12123	11122	02323	23122	12202	2		
Avril 1912	33322	22211	52232	12333	22222	42212	-13-2	3343-	3-44	54124	33333	-3433	2	12123	22232	12333	22223	12212	2		
	21332	51211	62332	25342	22333	52213	23422	344--	34344	43134	34243	34333	3	3	3343	3343	33434	23434	42323	3	
	51322	53222	54343	25343	31234	54323	3	33323	34332	22222	22112	12211	3	12123	33133	13334	43442	33332	33334	1	
	53323	54435	43343	36454	34444	54323	213-3	22313	04433	21212	22021	11121	1	11131	33322	12244	34332	33321	12233	2	
	-5543	74335	54444	46-54	4-466	54334	02202	-2211	04531	11011	01000	21100	2	21031	20221	01043	12111	21211	11121	1	
Mai 1912	36533	65427	64344	35555	34434	45435	01125	-4201	044-3	01011	00000	20010	1	01122	10001	00034	23021	11121	02203	0	
	5																				

CAP DENISON (suite)													GAUSSLAND (suite)													PORT-MARTIN													
Mai 1913	1-213	33322	22101	22012	20012	00122	1							42222	23412	32524	33123	33364	53323							3455-	43334	-3553	33-43	44444	3--32								
	-2213	33222	21210	11011	10002	00102	0							52311	13322	21544	34322	13354	44224							33545	44433	-3453	33-33	44443	3--32								
	-1023	42101	10000	01010	00001	00000	0							42211	22233	11443	24332	23454	34434							13344	33332	-3333	22-23	43333	22-11								
	-2321	34120	00002	01020	00000	20200	0							43222	21332	23444	32343	33765	43443							12434	33232	-1331	01-33	43132	11131								
	-1232	44220	00000	01000	00012	03232	0							22111	10212	23543	31141	34464	43323							04455	44343	-3432	11-12	33133	12212								
Juin 1913	-0032	53111	00000	01010	00000	00011	0							12111	20211	12343	12123	34563	62316							13444	33232	-3322	11-24	34134	22141								
	-2032	32111	02202	00000	00020	10110	0							24312	51113	1133-	22224	45556	31414							254-3	54333	-2432	12-23	34033	12220								
	-2234	33221	22202	10222	00020	00120	1							23311	22124	22243	32432	34654	32232							343-3	54443	-4433	32-34	43332	23323								
	11220	22022	00000	21002	01120	00022								33423	-2-23	---33	34243	23734	34332	2							3444-	--224	--444	34333	22243	--3-2	4						
	24210	20101	10002	01001	20120	10032								24332	-2-36	---23	23234	23534	23432	2							4444-	-3324	-3334	43333	22233	--433	3						
Juil. 1913	22230	10001	00000	20000	00000	10002								35333	-1-45	---22	43132	24643	23433	1							4233-	-2223	-3213	33121	01122	22232	1						
	21230	10000	00001	20100	00110	00012								43333	-3-44	---33	43233	33644	43533	2							3433-	-2233	41222	33112	10311	32223	2						
	21101	20000	20102	00130	30201	31002								34332	-2-33	---33	32233	13642	43322	1							2324-	-3213	43124	33113	11322	31122	1						
	11310	00100	00000	02000	30000	30002								35211	-2-42	---11	41123	32353	42222	2							3532-	-1124	34023	33111	13232	51021	0						
	32220	10100	00000	00120	20100	00211								3435-	1-25-	---425	34131	32563	32213	3							3533-	-2233	34133	33211	22323	42021	1						
Oct. 1913	32211	00120	00100	00030	11200	00211								2322-	2-34-	---223	32232	33533	34212	3							4343-	-2243	33233	33321	22323	52022	2						
	21120	11200	00222	21111	21202	22101	1							33435	33234	33333	33334	34332	2633-	-							3-432	33432	43335	42554	43332	23333							
	11310	00001	01231	11011	21222	11020	1							33445	32434	35333	32233	32232	2623-	-							2-333	44331	33334	43443	33323	43233							
	10100	00000	01021	11002	01112	00000	0							35355	22334	33223	53344	32433	3532-	-							2-211	42310	22214	32431	31113	23213							
	10200	00000	11021	20103	11002	00000	0							34435	33444	34333	53354	33542	4332-	-							3-221	21021	32223	41331	12123	31122							
Janv. 1914	20001	02101	03304	32002	02002	00000	0							23224	34335	33332	53432	43432	4332-	---							2-411	35113	21315	21311	22123	12332							
	21000	10001	01212	40103	01011	10000	0							31123	22344	33424	52542	42343	42341							4-232	23321	22235	33331	31003	12322								
	30000	01000	03223	01002	01002	10010	1							22433	43432	35523	41334	22442	635-	---							3-122	21302	32354	34222	11113	22233							
	21101	11011	12222	11102	10022	20110	0							-3333	22233	3343-	32333	32421	732-	---							2-222	13212	42264	23323	22122	12233							
	12232	2313-	12132	21234	-2214	2-1-2	2							----0	22133	42311	21002	12343	01312							-3433	33333	23332	33433	33433	-3443	3							
Mai 1913	131-2	3326-	23243	1-434	-3303	3-323	3							----0	52333	42211	22011	22332	22302							23443	33243	22322	33433	32433	-3532	3							
	12122	1125-	2232-	12343	-3102	2-115	3							----1	32233	31422	22011	22432	12102							04232	12122	30311	12322	13222	-3332	3							
	11121	1314-	21232	11434	-3213	2-222	1							----2	11333	33422	22011	23422	12213							43322	20122	21110	32232	22322	-3332	3							
	12133	2335-	11231	11323	-2111	2-132	2							----1	11364	43302	11020	23422	12113							33523	21221	21113	32312	31321	-2332	3							
Juin 1913	52232	2555-	10230	01242	-3111	2-051	3							31123	22344	33424	52542	42343	42341							24522	22322	21111	33332	32111	52322	3							
	54541	356-3	11221	1223-	12021	-2120	3							---1	21363	31132	11110	53352	03211							22432	23233	21222	24332	12213	22423	3							
	22321	222-2	10210	0213-	00021	-2131	5							---2	21232	21121	01120	22331	04221							33432	22222	22223	32222	03212	23423	3							
	52011	---21	-3-21	21222	22224	33-3-								2----	---216	31213	46413	23133	24121	0							44444	55334	44544	54-54	5-543	5655-							
Juin 1913	32331	---32	-3-43	42222	12325	44-3-								2----	---226	32233	43314	32443	21123	1							33344	34334	44344	54-24	44544	6635-							
	32210	---11	-3-23	32321	12214	44-3-								3----	---335	32233	42222	23242	21122	2							22311	42323	23433	54-35	44444	3424-							
	32310	---11	-3-34	32321	14235	33-4-								2----	---335	32223	43213	23142	21012	4							10112	32123	22223	53-24	34344	2412-							
	32220	---21	-3-34	12102	32222	34-3-								1----	---144	32345	32223	23243	10015	5							10221	32242	33344	44-33	43343	2314-							
Juil. 1913	30120	---12	-1-23	02112	01021	62-4-								3----	---235	43145	21122	32332	32015	3							11122	32223	33424	44-53	33334	2214-							
	6011-	---23	-2-344	12020	23361	4-5-3								2----	---3245	42355	3121-	22322	22011	2							22222	33222	33324	43-45	35435	3433-							
	4002-	---01	-6-211	02230	35031	4-4-2								2----	---3263	11224	3204-	52222	20110	1							33434	53223	33334	44-54	45444	4543-							
	2----	-----	---2-	4----	122156	-422-	2							32131	10000	31143	43362	1----	-----	-							55434	43545	3-435	4555-	54335	55555	4						
Juil. 1913	3----	-----	---1-	3----	0132-5	-513-	1							52323	11101	33243	43432	1----	-----	-							44423	32444	4-434	4555-	55344	35545	3						
	3----	-----	---2-	4----	13555	-213-	3							33321	02100	33233	33332	1----	-----	-							34212	22333	3-323	3544-	33332	34432	2						
	3----	-----	---2-	3----	220355	-233-	4							43231	31110	43253	34331	3----	-----	-							11300	12434	3-322	4443-	33121	43423	1						
	3----	-----	---2-	1----	21134	-321-	1							43231	01111	21233	33442	1----	-----	-							11300	02333	3-311	2334-	22201	22521	1						
Août 1913	1----	-----	---3-	2----	010022	-11-	0							63451	10203	22123	44632	1----	-----	-							22011	03333	3-131	3532-	23211	22621	1						
	1----	-----	---2-	---12	1416-	432-	1							51330	00102	23245	34433	-----	-----	-							33322	14343	3-333	3333-	34432	32533	3						
	1----	-----	---1-2	---11	0334-	523-	1							22420	00103	11144	25323	-----	-----	-							44343	24433	3-444	4454-	34343	55453	5						
	11231	00312	412-1	1130-	--24-	---11	1							-1100	13113	34335	33-13	24323	33122							55434	45546	36654	365--	5565-	55565								
Août 1913	11231	22211	412-1	1140-	--54-	---12	2							-3110	22223	33434	43-22	34443	44313							34334	34445	34554	454-4	5445-	44545								
	11232	11122	321-2	4031-	---44-	---22	3							-2111	24234	43444	42-11	44343	34213							33443	33342	34343	342-4	3323-	3-354								
	12222	11122	321-2	3140-	--24-	---22	3							-2111	24244	43433	41-32	53313	33213							22223	23231	33233	322-2	24233	2-342								
	12221	21222	311-1	3220-	--12-	---21	3							-2111	43546	35464	41-22	33333	33012							22432	24230	22343	222-2	24342	4-343								
Sept. 1913	02012	00323	511-1	1221-	--43-	---11	4							-2011	42554	55463	43-11	43422	42221							12332	23241	24343	321-3	23334	3-332								
	13214	12235	12-21	251-	--34-	---131	4							22011	41263	53545	2-132	52321	52122							33233	34342	34444	342-3	44434	4-443								
	12220	02135	01-11	131-	--25-	---121	1							21000	41235	22442	3-131	51214	30132							43434	55543	55444	353-4	45555	4-646								
	33432	23121	22112	23244	32333	33333								20231	3466-	-5523	412--	23243	1-124	2							54477	44665	45546	56566	56565	45754	7						
Sept. 1913	34433	34231	22213	23335	31423	22222								22245	1443-	-4332	444--	23332	1-334	3							54476	34656	44456	56555	565								

THULE													THULE (suite)													THULE (suite)												
Janv. 1947	10023	32101	00010	34223	31113	22312	2						13031	10335	54314	33222	22113	12110						53443	03341	34312	43341	23544	44235									
	10213	32100	00000	64211	10125	42231	3						13011	00224	34224	32231	23202	01131						44242	35331	24342	22241	23344	32043									
	13313	32310	00001	73322	22053	31222	2						22111	00244	64323	32332	11302	12131						44344	35332	22342	42332	33444	42043									
	32263	33300	00003	44332	12144	32232	1						32232	00355	53333	34243	33323	22123						54554	33443	35444	33442	33445	33344									
	33263	33110	00113	52332	12245	44433	0						41131	13456	63343	34342	34301	20231						75543	46556	36334	45443	43444	43344									
Févr. 1947	34454	22210	00121	53433	23234	44442	1						114-1	12455	64343	24343	432-2	2-333						65552	46456	56334	54554	43455	53455									
	23434	32100	00123	54332	23334	43332	1						32232	12466	52333	21333	332-1	2-123						64643	55445	34324	55554	53465	33435									
	02544	32100	00103	43253	03332	23313	2						31221	04465	33243	32333	412-1	12233						55533	54334	44215	44534	35454	43342									
	30130	21233	11111	23324	00121	431							30001	43223	22324	11230	00311	43221	0						53324	-2323	32325	11752	40342	44321	3							
	30030	20131	10102	33224	00022	331							10004	32233	24322	31121	00122	33110	0						66434	-1114	22224	41653	53423	23323	3							
Mars 1947	30330	32433	10222	44331	10002	213							22223	33432	33432	11311	01200	33111	1						55354	-1315	34144	13664	54543	44332	3							
	20332	33533	11222	44332	10023	213							53223	43344	43343	23331	12411	33121	1						44333	-2325	44444	23552	65453	45332	3							
	11143	33425	23313	53343	21144	233							33233	43343	35444	02132	03500	42332	2						54433	-3435	55555	43655	66445	45443	3							
	12422	33444	24333	54351	21142	423							14032	34243	45443	12112	03432	33241	1						55644	32446	43465	43555	54555	43333	3							
	32322	34352	20232	44342	12133	013							12132	44342	44433	11-23	03223	23131	2						32543	33335	43455	44555	55544	44231	3							
Avril 1947	13111	21441	32110	42341	12014	213							02132	32333	22332	01222	02233	33431	1						42432	23234	33363	26634	54534	44332	3							
	22662	11142	03154	35433	33342	43544	4						03321	23362	42211	10221	34200	021-3	5						04420	03432	30023	33323	34431	01211								
	12251	22341	14253	45343	24454	44633	4						23412	31343	31102	21122	23202	21023	2						13410	11332	11012	24343	42332	02220								
	25554	34450	24253	45333	34453	45433	4						23213	34333	32211	22233	22111	13-23	1						34122	22332	11023	43344	33334	33410								
	26564	35541	35357	34433	44542	46444	4						23423	43543	34322	22323	22212	03-3-3	3						34213	23332	31123	44444	44344	44520								
Mai 1947	36654	35554	36557	54543	54642	44545	5						34414	34544	32322	35334	44221	03-3-3	3						34323	23442	23422	24545	34345	54211								
	36543	45633	36566	55544	45753	56555	6						43424	34534	23333	24233	52423	12-4-4	4						35412	13443	32434	34446	44456	33322								
	45643	36543	34456	54544	35544	44545	4						44433	34633	34312	25333	43323	13-3-0	0						54312	23333	31325	34445	55544	21211								
	35633	22433	21554	45443	44435	35454	3						33223	34443	14213	15222	52320	10-43	2						44302	33322	22334	24334	33353	21221								
	21334	43263	44433	44643	31212	33433							40223	12322	21302	53532	02331	0433							022--	24211	41052	33310	20231	40122	2							
Juin 1947	32431	53344	33334	34535	32212	23424							03223	02112	11112	44331	02211	0432							012--	33112	01052	22230	21042	24021	1							
	43342	32345	33334	33-44	42222	44444							03542	32214	11123	32432	01331	0133							112--	13332	20042	31230	44253	22222	3							
	44244	54455	44344	444-4	34334	55355							03433	33212	33334	44432	12433	2333							133--	33242	42143	22435	44223	13233	5							
	56545	45565	55544	486-5	44533	46665							03644	43313	33334	44442	23523	3344							222--	44322	31334	41434	53216	03235	5							
	55556	46567	45444	56766	46537	66666							14244	34224	43234	43443	32544	4345							122--	44234	41334	40533	51125	24244	4							
Juillet 1947	54655	44453	54555	57655	33326	65444							13343	33221	32235	44543	224-2	3344							131--	55233	31432	43112	41224	44234	3							
	33443	44554	45344	56544	32315	54544							04233	43311	43335	33452	113-1	3443							132--	54313	40434	43111	32335	32134	2							
	44433	25231	35434	54344	44434	44544	2						34422	33012	15455	53333	42211	1342-3	3						25121	03331	24421	34143	23248	63221	1							
	54323	23233	33335	43333	32534	45542	3						44531	13112	25447	23332	33111	03103	3						25201	24022	32100	10232	33347	54411	1							
	54334	23223	23445	43354	32764	45333	5						43533	33232	05345	24343	42020	13302	3						33100	33313	32320	21233	33345	43322	1							
Août 1947	54335	34444	35556	45554	33774	54553	6						45434	33341	24545	25343	63210	35323	3						25100	32243	33331	32423	33335	43332	2							
	66664	56544	55666	55555	55885	76766	7						55444	43444	35535	24434	44434	45433	4						35021	20243	42233	32332	33445	54342	2							
	55465	55545	44568	65655	44777	76777	7						44444	54343	34656	24455	43213	64344	5						33211	33444	25220	33432	32456	44432	3							
	55565	53524	56556	55544	43776	76666	7						55334	42333	23556	34433	44221	31444	5						32202	33443	45320	31432	32457	54222	3							
	44344	43334	54646	64434	43455	64544	6						56323	41324	53446	43334	44303	44245	5						23101	24335	4523-	30431	32476	43211	2							
Sept. 1947	53433	55543	43455	33443	25455	45435							43322	13313	32342	22214	65435	33333							01141	24212	33542	223-1	352-2	330								
	53-45	44555	43454	25443	44445	43334							44433	42202	32443	12203	36332	33333							00031	14102	23311	133-1	241-0	331								
	53-36	45345	54454	44343	56444	53444							44333	33201	22223	22324	45244	23353							20242	23003	33331	333-0	131-2	243								
	45-67	65566	55667	65565	55446	62465							44434	54222	23344	34414	54344	55453							12231	44122	34332	243-2	243-3	243								
	57-78	56555	65576	76477	57656	65666							54545	54224	34464	56355	65566	5546-							23333	43324	43433	344-3	434-3	343								
Oct. 1947	58-79	46664	66675	66676	67685	65876							54455	74344	54455	66546	64456	5436-							12243	43524	54344	253-4	645-3	433								
	57-78	55565	55775	46555	77775	56766							43353	64344	25555	66535	54365	55435							03502	53205	44324	243-5	443-3	423								
	34-48	55445	45564	36544	45665	55554							53321	44244	23542	33334	53354	44435							01411	33113	44343	333-3	342-1	321								
	45533	33445	44434	43864	54535	45543	3						33344	33344	55636	64542	44555	34446	2						33422	11230	1-444	13513	46421	51253	2							
	45421	44334	35424	32854	45454	44343	3						34432	35445	44636	64323	44444	33354	3						14314	01120	0-342	12334	26534	41324	2							
Nov. 1947	44433	33554	45424	22645	43444	45443	4						44433	54573	54535	33423	44554	43333	4						13333	22220	1-443	14423	25533	42432	2							
	55642	55555	55515	34765	56545	56556	6						45455	45666	64455	74554	66665	53354	5						45433	13343	2-454	34344	36534	43544	3							
	67644	65667	67466	46675	87766	67556	6						65565	47776	76658	84655	65675	55565	6						54441	33452	3-543	43435	45465	44555	3							
	67645	65656	66565	37667	67767	78565	5						55554	66877	75666	73545	65755	44586	7						33532	24454	4-455	75545	45555	43443	3							
	66534	55555	45554	39775	65665	66443	4						55654	46665	66565	63434	65655	54466	6						-4443	23434	32443	64334	35244	43533	2							
Déc. 1947	56424	44555	54553	29655	45554	55433	5						45554	55655	56467	-5335	55554	-3464	5						-4222	22332	13343	35443	64245	33523								

THULE (suite)

Juil.
1949
53332 34432 23542 25355 23443 24332 4
43-22 33331 31540 14353 33545 32333 3
33-23 12243 42442 24344 34345 52254 3
54-34 44454 33765 35644 44545 34354 4
65-35 55755 54785 75765 46566 55475 6
44-43 37655 54885 66555 65455 44465 7
34532 45645 44764 65655 46555 43346 4
23333 34533 34443 53553 45545 33444 4

Août
1949
34664 54423 3235- 43444 34321 34223 3
33563 33534 2224- 43344 33220 23433 3
35565 33434 2334- 33334 32231 25342 3
44776 75654 4354- 45554 53433 24344 4
56875 66644 4456- 56565 64433 45454 5
47875 56556 4466- 46555 54343 45555 4
54655 34644 3445- 35555 54323 44434 5
54555 53354 4445- 34454 53213 33454 3

Sept.
1950
--2-- 53344 34121 2244- ----4 2311-
-4-- 54443 52220 2343- 3---3 3221-
-5-- 54542 34212 2344- 2---5 2422-
-4-- 54644 45333 4545- 3---4 5332--
--5-- 55545 35424 6546- 2---5 5434-
-6-- 55545 33533 6545- 3---5 5433-
-5-- 55655 32522 4533- 3---5 5322-
-4-- 54544 42522 3434- 2---4 4232-

Oct.
1950
45353 44432 13244 24212 00442 21435 5
45444 44331 23245 23310 00321 10535 5
55444 54341 12433 44421 02330 32554 4
55454 55343 33342 44523 12431 32554 4
66555 44423 22353 54332 23431 22655 5
55555 55433 53534 44423 34441 22555 5
35654 54333 34253 53323 34432 32554 5
46545 45232 23444 33223 23323 32655 5

Nov.
1950
34423 11413 33420 22021 12316 48643
33332 10423 32410 1212- 01105 56433
44352 21015 35421 0302- 11214 44433
63343 20115 34321 1232- 12125 55533
64353 10324 34431 234-- 14216 55541
54253 21334 34331 344-- 05255 54443
52343 11225 33433 3-5-2 34243 54533
31323 12122 33433 3-3-1 25243 54543

Déc.
1950
21112 13121 -0522 21-31 30334 63-23 1
33110 12132 -23-3 41-11 21335 43-20 1
33121 412-2 -24-3 22-20 11443 44-21 2
23212 413-2 -3414 34-23 22544 54-31 1
23222 5133- -33-3 2--23 14444 44-12 1
23223 2242- 24443 2-342 14644 44-23 1
33323 2142- 14644 2-433 15344 4--33 1
12323 2232- 04-53 2-315 03343 3--23 1

Janv.
1951
22421 20301 43424 43143 16523 23323 3
24422 11121 23334 24131 05231 13322 4
23202 12321 34333 34120 05323 23333 4
22203 22321 34333 42122 34433 33342 4
23212 11322 34243 41342 54443 43433 4
33223 21215 33234 41233 54422 44434 4
3-323 21204 33534 42-42 45533 44433 4
33224 11104 42345 42240 46332 33432 3

Févr.
1951
52101 42243 54421 21213 24554 254
32002 43233 35321 00222 24443 345
31022 42344 34311 10131 35553 346
3-043 31343 43431 10143 35554 345
3-134 32354 34422 22343 24444 454
3-2-4 34554 44432 22442 45554 455
4-1-4 235-4 45432 12431 44544 555
4-213 225-5 43442 02321 45545 333

THULE (suite)

Mars
1951
412-0 13345 44445 12341 13434 32324 3
412-- 33345 45443 32331 13334 34042 2
424-- 52444 34443 44440 32333 33042 3
433-- 45544 45443 55444 24444 44354 4
443-- 56554 45544 54434 4-444 53344 4
544-- 45-54 44543 54434 3-544 54545 4
444-- 35-44 54563 44422 3-553 53344 3
332-- 24454 34442 44411 35544 42342 2

Avril
1951
22554 44334 34552 44254 55435 43441
23444 54443 33433 13223 54554 23331
23444 53343 33343 23323 44454 23342
44544 44343 33544 22655 55455 45432
35655 55454 44655 35655 45555 56554
35655 44444 56554 44656 56565 46564
35545 65444 24643 33555 54256 35553
45555 54443 55533 42545 44454 24333

Mai
1951
45452 52335 55336 55543 33253 45423 4
53343 43234 44234 54543 22333 45522 3
44333 43245 45345 44343 12444 43444 3
65344 43235 55347 54444 22455 56565 4
65544 45447 57347 65554 35775 65656 6
56555 43446 66356 56444 45786 73557 6
55544 53457 56356 45543 43756 64354 4
65443 43376 43355 54443 33744 52245 4

Juin
1951
34534 55553 35436 54654 44445 33423
44433 55451 43325 43563 44434 43434
35334 75632 44526 33654 54336 54424
45333 66645 53667 53845 46555 54446
56455 76646 55766 55657 66857 65556
56456 76655 55667 78876 56656 66466
56345 54514 44566 68764 44656 55544
44334 45534 65475 46544 44545 44444

Juil.
1951
46454 44444 44434 43432 43632 46533 4
35454 33354 23432 44434 33433 54544 4
36454 34355 53444 45434 34434 54543 4
56565 44555 55554 56544 46444 65554 4
55666 55466 56555 77655 36657 55656 5
58776 65664 55546 86755 46456 75565 6
57764 35554 44444 68754 46445 44644 6
56554 44444 44456 54433 35434 55544 6

Août
1951
56444 43323 45435 44315 55544 43333 3
34444 33344 34534 42335 54246 43442 2
23334 44334 35535 53335 44445 54442 4
34555 45445 44654 63244 54545 55544 5
66665 55566 65556 54556 55556 56544 6
58776 56465 66557 86655 46456 75565 6
64555 45453 45656 64445 64646 65523 5
54454 45444 65556 54235 54634 55524 4

Sept.
1951
34223 53145 34643 55524 76563 65543
23333 32334 33544 54524 55655 76233
22323 42434 44546 44335 54445 25234
44435 65454 55545 54447 65555 46334
53455 65554 45655 56466 66555 56444
55454 54654 66645 65666 66555 55352
33445 54445 55545 63467 65646 45343
33435 54343 56545 76455 55546 33332

Oct.
1951
24212 22444 4---3 34455 34222 13343 1
24101 03544 3---2 35464 43120 13432 0
24201 02534 3---3 35434 43322 23322 0
43321 14545 4---3 35444 33331 34434 1
44423 14555 4---3 45543 34321 44643 2
55342 05455 4---3 46653 34333 42532 1
43323 05444 4---4 45544 45332 42622 2
34333 04444 2---3 45444 34420 4-530 2

Nov.
1951
12244 24412 05263 31313 35334 32334
02434 34231 02343 42132 22322 11242
01343 23140 04443 23231 21113 21244
22443 32240 14544 33322 23334 22244
23543 44230 34444 32224 24442 42444
23443 44241 45444 43234 24454 32353
13444 54440 33544 36335 34434 43443
33534 43420 43443 26245 33524 23442

Déc.
1951
23333 11533 43213 22333 22412 00620 4
24234 11344 33312 43323 14300 04610 2
23242 11435 53213 32333 22300 12602 4
43233 13645 53324 33334 24412 13513 5
33353 33555 43305 34343 14312 23543 4
33343 14564 42-15 24443 24321 12541 5
33333 34564 32-35 35533 15421 23422 4
32353 34434 33-44 22442 35112 15303 4

THULE (suite)

Janv.
1952
63245 42303 54444 4221- 21234 00323 2
32334 43335 35363 2311- 21112 03413 0
43224 33234 34434 3311- 11333 13332 1
42235 42413 44544 3101- 21323 24332 2
43345 44424 45557 4213- 22-43 44443 3
43144 54345 54555 3223- 22443 44352 3
33344 34444 64554 3323- -2433 22353 3
32464 22133 35552 2313- -2332 13362 2

Févr.
1952
33220 15533 55533 34343 21064 3442
12211 35553 35432 63134 31251 3443
43110 45633 34323 50243 22332 4554
53221 45434 44333 53343 12253 4454
54222 54544 55543 53353 33255 4444
54311 55554 55644 53453 32254 5444
42221 65645 56432 43553 33244 5554
42211 64535 55433 53543 23442 4523

Mars
1952
31055 54554 44223 344-1 3--53 42123 6
32055 64433 34222 343-2 3--52 32213 5
20255 53344 43303 344-3 3--44 03221 5
42265 55544 53333 454-3 5--54 34334 5
53566 56645 54434 553-2 6--55 45344 6
52565 56556 44444 555-1 6--65 452-5 5
32666 55655 -5326 443-2 34-55 532-5 5
21656 56655 -3435 442-1 55-54 331-6 5

Avril
1952
-5445 55554 33323 -3233 34323 22445
-4445 44444 32413 -4134 34312 11444
-4555 55444 42233 -3122 44322 11454
-6555 55444 33344 -4432 46544 23445
-6545 55443 44554 -4453 66454 34466
-5666 55464 44565 -3554 66455 55466
-6666 56554 35445 -2552 75444 52465
-6555 65553 33344 -2454 55352 53466

Mai
1952
56466 55524 14253 31544 43245 26654 5
44434 55523 14342 22444 33135 24454 5
54444 55622 34332 12554 43334 45444 5
55454 55533 44444 32654 54454 65454 4
55566 55634 55534 34655 74545 65666 5
65555 57533 66544 45667 65556 56665 5
56654 45423 55534 34555 42553 66643 5
65656 46422 44432 34454 32343 66656 5

Juin
1952
34343 34444 43244 44543 33464 54436
44434 31443 33344 45523 23453 54326
44334 23543 53344 45343 15544 54345
44334 44565 53345 55454 46645 56556
55445 44665 75476 65565 46656 66636
65544 43876 75476 76665 45656 55546
44433 33654 63476 65444 46555 45455
33335 33653 53454 44533 34555 45355

Juil.
1952
34335 331-4 54354 33433 45343 54313 3
33444 534-4 54345 43423 54433 52302 3
33344 643-5 43354 43313 54423 41312 5
55437 544-5 45655 53466 64455 44432 4
57657 655-6 56786 55457 66655 66444 6
66686 656-6 55666 54546 66555 55433 6
64676 555-6 55455 44345 55445 44433 4
64556 424-5 23455 44335 55444 45333 5

Août
1952
34344 55414 35223
43433 54513 33232
33533 44422 33331
33544 43344 44333
55665 45544 66443
54765 64445 55434
55555 44444 54334
44545 54333 54324

GODHAVN

33332 56344 26214 36432 11135 03225 3
33324 53513 44513 44211 02135 02124 3
13412 33322 44321 44321 13132 14212 4
33332 44333 33423 43423 23343 13133 4
33432 34344 55332 34534 33344 13234 4
42643 33334 44333 34443 23234 3
32342 43244 43222 33523 23333 22134 5
34343 66533 36131 24211 11232 22123 7

GODHAVN (suite)

Févr. 1940
64534 45432 23243 12003 63333 1422
32112 32352 13122 22104 32224 1412
44323 33331 23332 22114 32224 1323
34434 43332 43233 33213 33334 3223

55434 44442 45434 32214 54445 4344
45444 34343 44333 44224 43345 3344
43432 43313 43312 32213 33434 3333
33325 32322 32522 20022 23342 3122

Mars 1940
12212 01332 20331 11023 4425- 66536 6
42212 02231 11420 10124 5325- 44435 5
42312 11233 11231 22033 3255- 44546 4
33332 13433 22332 33144 3366- 34456 6

33333 14443 34332 33255 446-7 4655- -
23332 22333 34431 32234 536-5 54466 -
22322 22433 34231 31143 33565 53455 5
01231 23332 14320 20034 335-5 43467 5

Avril 1940
63623 51021 01222 32221 23334 43341
62523 31110 11332 32222 23116 33232
43522 31321 12232 24333 34234 33232
54633 43222 43644 44444 44344 45345

54643 43343 44445 43445 44455 44455
54543 22331 34444 33454 34245 43444
45533 33321 22333 23343 33324 43333
44433 22111 12234 33223 33334 33313

Mai 1940
33223 22232 33332 33333 25234 34342 2
23221 12333 33325 22423 54364 43321 1
43323 25334 34344 23443 34352 43432 3
55533 25246 55545 45644 46463 55534 3

44543 34555 54566 45756 34454 55543 3
44343 24444 44435 34646 35355 63444 3
33233 23334 43434 34433 34564 54443 3
32232 13223 34433 23342 33343 44333 2

Juin 1940
23232 44424 33233 43332 22444 53415
23223 34343 22235 44533 33336 33223
34234 44434 33334 44342 34345 23322
34434 64564 44455 64444 36458 54434

44555 76553 44466 65554 4645- 55335
34535 45542 45465 55454 3534- 55445
33343 44443 33354 43343 34446 44344
33334 45432 23443 43343 23345 42334

Juil 1940
31334 33344 43244 42222 32334 42313 5
31333 32234 43353 32122 33253 22223 3
33444 43335 43444 33233 35344 32335 4
44565 44344 44655 34333 55444 43356 5

54655 54456 44766 55444 66544 34456 5
44554 44465 44656 45433 44553 33335 4
34434 43355 44444 43234 43433 22244 4
23454 44334 33543 32333 43233 22343 3

Aug 1940
63333 33343 34332 22033 33222 33332 4
42423 33342 33231 22103 31310 23521 2
33333 44433 43343 32233 32322 33331 2
3-435 45444 44344 32445 54333 43443 4

34545 55565 65454 32455 54534 55543 4
45545 55566 55443 33554 54424 44434 4
44443 44455 43333 33544 44223 43333 3
53434 42543 43332 32332 33113 53323 4

Sept. 1940
51443 24442 12122 10120 22222 24443
32453 25342 01033 20011 21025 24332
33433 24332 32123 21112 31325 22632
44534 34432 32334 32334 54325 22442

54545 55542 43445 43335 54326 33433
53544 45542 43345 43234 34234 54434
44443 43442 32353 32223 33234 66444
33443 43333 12243 12112 22234 45333

Oct. 1940
52343 23330 33201 12224 33000 23423 3
31343 24321 22212 11134 24001 33243 2
33433 24412 12123 32333 35101 22332 2
34333 44444 34234 32345 54223 43322 3

65534 44444 44323 43453 44224 54433 4
55434 44333 34333 33433 44223 53321 4
53433 34423 33122 43343 42213 43321 2
23221 24423 33123 12353 52003 43312 1

Nov. 1940
21323 33312 02443 32351 44344 55134
22335 22221 00434 22122 35313 53333
33343 33221 13523 20231 45323 33343
33333 24321 04434 32331 34324 43244

43334 24332 14334 34333 34335 43243
31332 33231 24434 45324 33234 33343
11243 22231 14334 34122 23223 22143
01222 21110 24342 35213 43225 23364

GODHAVN (suite)

Déc. 1940
33422 23002 13562 44443 36652 43333 6
35343 32031 12341 42313 55232 44245 4
33234 22033 33342 32225 46333 43344 2
35342 23134 33433 53334 45434 43334 3

44434 32133 34433 33225 44334 33434 6
34333 31134 34344 32224 44333 33334 4
33232 20022 32333 22124 62422 32334 3
45322 20012 42226 14127 62524 22362 1

Janv. 1941
12121 41223 32312 16555 31352 62443 2
24020 32241 12112 03233 32225 23223 0
21011 32232 12102 34342 23333 43203 2
22223 33122 32313 24324 13434 44332 3

32222 22333 44111 25443 23344 45424 3
33213 33233 33312 35343 23344 44332 2
20112 23322 23221 13422 13433 33313 2
21101 21322 32321 14663 02564 23211 -

Févr. 1941
11221 54644 22366 42410 33226 305
00422 45533 11244 32102 25221 312
11412 54343 21344 13302 12323 412
32333 54333 22344 32444 44434 324

33544 44544 34545 45334 55554 424
32434 33343 32535 33334 44545 333
23233 33332 22323 34323 54543 232
12314 32222 11422 63113 56465 023

Mars 1941
46665 53553 32353 51314 35421 10254 6
75453 32323 21343 22113 34321 10245 5
64343 32121 20243 23114 33233 20334 4
65354 44433 43254 33255 54444 33544 5

84555 43433 34255 44265 55644 23555 5
54544 44343 33445 32355 54454 22546 4
64334 32443 32444 31244 53323 21555 2
45155 23341 33376 11326 43631 11454 3

Avril 1941
36230 21431 23220 41423 31004 33331
23322 31132 33120 12162 22003 31241
13222 21144 34120 13353 42244 33242
44423 33343 44223 44344 43465 53432

44434 44564 55323 54555 44355 33431
35423 33455 44323 44555 34354 43413
33322 33334 32213 33333 42164 32422
43222 25323 22203 23433 12144 32312

Mai 1941
01112 11014 32313 40332 34333 42232 3
02231 13043 22222 25222 14253 22231 3
23613 32323 21333 45222 53354 13332 2
43353 42444 42333 43434 55544 54533 4

43453 53535 33443 56433 45655 54543 4
34444 43435 34433 54423 34444 44454 4
43321 32323 14333 33332 44344 33333 4
32131 13332 13133 23313 44432 43432 2

Juin 1941
22202 11113 42233 22313 33223 43342
32120 11114 33223 11313 22223 23332
31324 22223 43445 13425 44342 33232
32413 53455 53536 24345 55452 35444

43422 55357 55656 24345 45353 45434
32334 34446 55425 24354 44442 32433
21222 32134 43333 15343 33323 33332
21133 12133 33432 14244 34333 32432

Juil. 1941
34325 65214 22111 23342 53342 11211 2
32234 55323 31111 32232 33333 21112 1
43246 55324 44312 34223 53223 22223 2
43346 54543 55334 43334 65445 31334 2

23545 44665 45334 54435 55655 33333 4
43547 45454 42323 4-344 45454 22222 3
22355 54444 32232 4-334 43333 31323 3
21246 43234 22122 43232 33422 22122 3

Aug 1941
24254 34211 32322 11131 21111 44324 3
23665 32200 22232 01031 10020 24342 2
33554 53211 33332 21132 10131 13342 3
35445 55331 43533 32343 43234 34443 4

36465 54331 44434 42354 32232 56565 5
54354 44321 43442 31343 51134 45353 4
43344 33221 32321 21332 43123 34344 3
34344 53112 22311 22332 22222 23354 3

Sept. 1941
33411 00223 32033 62273 31043 12113
31111 01212 31032 30563 61032 02131
32222 03332 22133 22563 32333 14132
31322 25433 42444 34663 33354 33554

54222 25333 53645 53555 53664 25353
53322 24433 32644 34544 52453 33344
43111 24322 21435 32552 22333 23443
33120 22341 40343 31733 01343 11432

GODHAVN (suite)

Oct. 1941
20222 1--10 24613 21021 22132 13161 4
10001 0--30 24213 51111 11212 01102 3
21102 1--10 34213 23233 11121 22022 3
31123 2--21 34323 23233 23222 43233 3

32232 41243 44343 33342 15443 43322 4
33123 33324 33243 33332 14332 32332 5
13212 21313 42323 31221 03332 41311 4
12221 21213 62233 30111 03320 32212 4

Nov. 1941
30121 25225 51121 12262 31321 20323
50112 21412 32100 23130 21410 12522
20122 22422 32210 14222 22212 23533
20132 33333 33222 13323 32211 22434

32423 54334 43332 13333 43322 33333
33334 33332 43331 14322 23322 13333
22134 33223 22211 23312 34211 12422
01323 52114 34111 23522 24111 02312

Déc. 1941
56130 12331 10242 54215 02221 04231 2
46251 32102 12053 24130 01311 22210 1
44232 12112 00132 23411 00111 12120 0
64242 33232 21233 33333 21132 32232 0

54333 32233 21233 33432 11132 32343 1
53433 22232 11243 32433 11312 33322 3
43333 02110 01331 12111 11211 22222 2
41433 32450 01242 26111 21310 33223 1

Janv. 1942
00422 25223 42113 14445 01111 10112 0
02254 34021 14110 12552 02200 10401 0
12324 23102 21202 14331 11210 11301 0
23223 33202 32021 33432 22211 13312 1

24434 33113 32213 34332 13213 23312 2
13433 43023 31213 33341 32113 13323 2
13234 32012 13111 32311 12103 12222 0
13234 50112 12231 11402 11021 01121 0

Févr. 1942
01300 25110 31203 22201 32365 323
01203 52000 11302 12201 21242 312
03203 21111 20103 21101 31242 312
14233 43133 22123 42104 22244 324

34223 44233 41224 32234 33654 235
33123 43213 31223 21313 24444 245
21114 31112 31113 22123 13444 223
10101 30102 20031 30002 12434 333

Mars 1942
46532 34462 33534 24013 33221 01101 0
56534 52553 31321 11024 34221 03130 2
45643 43342 22261 22323 32212 31122 2
75444 43534 32444 22542 54333 43242 3

75514 54544 23455 23453 54443 63255 4
74445 43445 13444 23443 33323 53245 3
64445 24433 02423 24332 33411 43233 3
64333 24341 01362 21331 32310 12122 3

Avril 1942
31341 11321 31240 24343 22030 11422
32532 21310 30130 34331 01120 11310
23361 11320 43222 33333 11231 23211
33443 32431 33342 45444 22442 24424

34554 33542 53542 55545 32652 35525
44444 22432 55442 34444 33243 36224
24353 21322 33332 33433 31443 24213
24432 21233 23412 33521 10311 24222

Mai 1942
30213 20102 30221 22220 32315 21222 2
22223 31002 20132 21121 22231 11223 1
33322 22221 31253 23323 34423 23322 2
54534 43233 23253 43332 44434 36444 4

44345 43333 33344 43343 44433 35533 3
34344 32222 32533 45335 45343 35533 3
33241 22121 31313 32114 34432 24423 3
14343 21212 13313 31333 33332 13222 3

Juin 1942
21123 21300 23432 22423 11133 12133
11012 21211 23333 23322 31133 23124
21322 33121 44332 23333 21213 32334
23523 53332 56353 34454 33442 43444

33524 43432 76554 45365 24443 33445
31434 23222 54543 34454 23444 32444
20332 32221 44442 33344 13332 31344
11322 21111 32432 23233 23333 21433

Juil. 1942
22301 23443 42333 44221 42323 23334 3
31101 11332 42233 33111 33233 23323 2
53211 33422 52434 33214 21333 34433 2
53322 33432 66544 44346 44325 35543 4

44324 34643 54465 54335 44435 46535 3
44213 43454 53556 34324 43445 35433 3
33233 33543 34435 43214 32434 34433 4
33123 43434 43345 32114 21333 45332 3

GODHAVN (suite)							GODHAVN (suite)							GODHAVN (suite)											
Août 1942	21223	23212	23320	34333	24332	23201	1	Janv. 1943	02125	34151	01100	02413	46452	22013	2	Juil. 1943	21326	34534	35542	33233	53221	23032	3		
	21322	02112	32110	33123	23333	32100	2		00124	31130	12110	01211	41242	20102	1		11435	33335	34313	22332	23332	12124	2		
	13312	24212	22220	23333	32323	33211	2		02114	32031	12111	03322	34322	30212	1		23434	43444	64322	33443	44232	33314	3		
	23333	35245	54233	44345	54654	34333	3		02252	31032	22221	14333	34332	42222	1		24445	55564	54424	43644	45322	44435	5		
	24422	54246	43233	45565	53654	45444	4		02343	32222	22221	34323	34332	34322	2		33555	64666	64434	34555	55332	34426	4		
Sept. 1942	23332	53246	24213	44353	43555	44324	4	Févr. 1943	22353	31322	21201	13224	34232	33321	2	Août 1943	33466	65655	55335	65655	54423	44325	4		
	23322	32226	23213	44344	32443	43232	2		21242	20211	11000	13223	23321	02220	2		23355	33454	44434	34333	34322	42214	3		
	22313	34223	22323	54463	45434	41133	2		31244	21414	11201	63224	33120	20112	2		12354	54342	54313	34342	45212	31223	3		
	13112	22213	14425	44232	42442	11210			20325	42200	21*						32645	33363	52342	45414	52243	22145	5		
	12213	22113	24233	42243	44112	01110			00131	01110	21						33233	22443	22332	44224	51253	32334	5		
Oct. 1942	13222	32323	16333	33333	44132	12212		Mai 1943	01222	31122	21				Sept. 1943	34334	53442	22443	43445	42253	42234	6			
	34443	54343	34354	44444	44332	33243			22233	22123	22					54544	46543	32644	64644	42343	43543	5			
	53444	64434	65465	56655	55233	23343			32343	32322	22					55556	56653	43665	65645	53544	43664	5			
	43334	53424	45444	45444	43223	23332			33333	23322	12					56454	55553	34543	44464	33444	42656	5			
	33223	41221	44364	34433	33222	23132			22222	32322	11					34454	53532	23444	34344	23344	23446	5			
Nov. 1942	13132	64124	54633	56435	24323	22211		Juin 1943	20212	21100	02				24544	32354	24554	44244	32423	12436	4				
	02532	44331	13432	43272	12103	25155	4		Oct. 1943	34332	43211	12135	14543	30234	34443	2	Nov. 1943	65324	23263	43254	34222	25221	25625		
	02434	122-0	03234	35332	21102	31123	3			52132	13000	13234	13651	22233	23342	1		34334	22243	32432	23232	22321	24444		
	02443	231-2	02335	34342	11203	21164	2			33233	22132	23342	33443	34334	23334	3		32352	42343	33322	23232	23414	23233		
	25454	232-3	44454	43444	32204	32453	4			54345	43234	23545	44544	42555	33544	3		34455	33444	45543	34232	54333	44346		
Déc. 1942	26544	24334	54555	54534	43424	32354	4	Nov. 1943		45335	43334	43535	54554	43455	43544	3		55564	34555	55553	43244	65334	64445		
	26534	23324	44454	44444	42234	23444	3		35345	42234	53554	55444	33455	44523	3	64545	34355	43444	43333	34333	54445				
	16433	22323	44444	43432	11213	31443	3		43343	22224	34433	44443	12344	43332	2	43443	42554	33333	33323	33232	44444				
	24654	22112	34636	22322	12101	32565	3		42322	12122	32333	46534	13333	35433	2	44634	12364	42365	34423	32321	45665				
	32201	43322	55545	62401	34166	23361			43332	43211	12135	14543	30234	34443	2	56555	22333	14411	20020	61535	64534	3			
Janv. 1943	22110	32110	22132	11113	10066	62334		Févr. 1943	52132	13000	13234	13651	22233	23342	1	Mars 1943	53332	11233	23401	02031	21223	42435	4		
	43130	13202	24231	23233	31343	34333			33233	22132	23342	33443	34334	23334	3		44333	21263	34111	13130	34225	44343	3		
	54231	13323	32351	33323	33344	44332			54345	43234	23545	44544	42555	33544	3		33544	34444	43333	13223	24255	55434	4		
	43232	24434	43443	13433	32334	43333			45335	43334	43535	54554	43455	43544	3		55553	35554	43432	34244	24355	44355	5		
	33222	43424	33434	12324	32333	42432			35345	42234	53554	55444	33455	44523	3		44432	23444	33321	13323	23243	43444	4		
Févr. 1943	23112	12232	32343	12223	21363	53321		Avril 1943	43343	22224	34433	44443	12344	43332	2	Mai 1943	45333	14453	44221	22315	13144	34453	4		
	12222	11223	42336	23112	21536	54322			42322	12122	32333	46534	13333	35433	2		66522	13332	34210	23202	03353	46556	4		
	33232	00226	14222	30214	36156	33210	2		Juin 1943	22221	41432	23641	12124	33444	24342			Juin 1943	42111	22263	10010	30116	66566	46451	
	00012	01024	42022	20112	54514	53210	0			22121	31333	13442	22123	32343	22322				20113	42334	11010	40145	34353	55551	
	10021	01213	23221	20221	43332	33110	0			23233	42333	23342	22224	43444	33432				32113	23333	20002	31253	44433	44443	
21023	03234	32231	22232	44343	33231	0	44333	35544		55543	32266	64455	33543		42224	34433	22122		32244	44433	43431				
Mars 1943	32141	13233	33232	22111	54432	43220	0	Juin 1943		45333	34544	55553	32254	64666	33533		Juin 1943		43334	43433	22121	31354	44444	44332	
	32232	12143	23332	21102	43433	33220	0		44334	35655	54533	33355	54455	32531		43234		42332	12222	31334	44444	53422			
	21110	12332	22121	10002	32322	31111	0		33323	13433	44533	22244	43443	23422		21113		43323	11212	10243	22535	63331			
	22510	31244	51112	11012	20242	61111	0		32313	14435	33422	31244	43433	33322		50222		32222	10200	21163	64664	76511			

*Les indices de la période allant du 13 février au 30 avril 1943 ont déjà été publiés dans les I. A. T. M. E. Bulletins ainsi que ceux postérieurs au 30 novembre 1943.

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Reproduction d'enregistrements magnétiques de Port-Martin.	11
Figure 2 : Variation en fonction de Φ du caractère C_n .	12
Figure 3 : Comparaison de spectres de fréquence d'indices K .	18
Figure 4 : Indice K et amplitude absolue.	19
Figure 5 : Carte des stations dans l'hémisphère Nord.	25
Figure 6 : Carte des stations dans l'hémisphère Sud.	25
Figure 7 : Variation journalière de l'activité en six stations.	35
Figure 8 : Définition de l'heure géomagnétique.	38
Figure 9 : Variation, en fonction de I , du niveau moyen A .	39
Figure 10 : Variation, en fonction de I , de $M_N - T$.	39
Figure 11 : Variation, en fonction de I' (5000 km), du niveau moyen A .	41
Figure 12 : Variation, en fonction de I' (5000 km), de $M_N - T'$.	41
Figure 13 : Variation, en fonction de I' (1000 ou 500 km), du niveau moyen A .	44
Figure 14 : Variation, en fonction de I' (3000 km), du niveau moyen A .	44
Figure 15 : Variation, en fonction de I' (3000 km), de $M_N - T'$.	44
Figure 16 : Rattachement de 4 stations de l'hémisphère Sud à l'hémisphère Nord.	47
Figure 17 : Isoclines magnétiques à 5000 km d'altitude et courbe de fréquence aurorale maximum dans l'hémisphère Nord.	49
Figure 18 : Isoclines magnétiques à 5000 km d'altitude et courbe de fréquence aurorale maximum dans l'hémisphère Sud.	50
Figure 19 : Dispersion dans les mesures de M_N .	54
Figure 20 : Variation, en fonction de I' , de $M_N - T'$ pour l'année et les trois saisons.	55
Figure 21 : Comparaison des variations, en fonction de I' , de $M_N - T$ pour les trois saisons.	55
Figure 22 : Comparaison des valeurs de $M_N - T'$ aux stations de la Ière A.P.I. et à celles de la IIème A.P.I.	56
Figure 23 : Variation, en fonction de I' , de $m - T'$.	57
Figure 24 : Comparaison des valeurs de $m - T'$ aux stations de la Ière A.P.I. et à celles de la IIème A.P.I.	57

	Page
Figure 25 : Dispersion obtenue dans les mesures de M_J .	60
Figure 26 : Variation, en fonction de I' , de $M_J - \Gamma'$.	60
Figure 27 : Variation, en fonction de A_p , du niveau moyen A_y .	69
Figure 28 : Variation, en fonction de I' , du niveau moyen A pour les trois saisons.	70
Figure 29 : Variation, en fonction de A_p , du niveau moyen $A_{j,d}$.	71
Figure 30 : Variation, en fonction de I' , de A_q et A_d .	72
Figure 31 : Variation, en fonction de I' , de A_d/A_q .	72
Figure 32 : Variation, en fonction de I' , de $a_{\min}$ et de $a_{\max}$ de $N - a_{\min}$.	73
Figure 33 : Variation, en fonction de A_p , de $a_{\max}$ de $J - a_{\min}$.	75
Figure 34 : Variation, en fonction de A_p , de $a_{\min}$.	75
Figure 35 : Schéma de la compression des lignes de force du champ magnétique terrestre par le front de corpuscules.	85
Figure 36 : Intensité du champ magnétique autour du point Q .	93
Figure 37 : Relation entre turning-point et drift en longitude.	97
Figure 38 : Représentation schématique de la variation en latitude de $M_J - \Gamma'$.	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Coordonnées géographiques des stations.	24
Tableau II	Valeurs des amplitudes a_i et A pour tous les jours.	29
Tableau III	Valeurs des amplitudes a_i et A pour les jours calmes et les jours perturbés.	34
Tableau IV	Coordonnées magnétiques des stations.	42

RÉFÉRENCES

- (1) - P. N. MAYAUD, Expéditions Polaires Françaises, Terre Adélie 1951-1952, Magnétisme Terrestre, fasc. I, Etude des observations - Paris - (1954)
 - (2) - J. M. STAGG, "Numerical character-figures of magnetic disturbance in relation to geomagnetic latitude", Terr. Magn. Vol. 40, 255-262 (1935)
 - (3) - J. M. STAGG, "The diurnal variation of magnetic disturbance in high latitudes", Proc. Roy. Soc. London (A), Vol. 149, 298-311 (1935)
 - (4) - A. P. NIKOLSKY, "Variation journalière des perturbations magnétiques à de hautes latitudes", Problemy Arktiki n° 4 (1938) et "Double aspect des perturbations magnétiques s'effectuant à de hautes latitudes", Problemy Arktiki n° 2 (1948)
 - (5) - J. BARTELS, N. H. HECK and H. F. JOHNSTON, "The three-hour-range index measuring geomagnetic activity", Terr. Magn. Vol. 44, 411-54 (1939)
 - (6) - I. A. T. M. E., Bulletin n° 12e
 - (7) - I. A. T. M. E., Bulletin n° 12d - Washington - (1950)
 - (8) - Archives de la IIème Année Polaire Internationale - Copenhague
 - (9) - Canadian Polar Year Expeditions, 1932-1933, Terrestrial Magnetism, Vol. II - Ottawa - (1939)
 - (10) - A. W. GREELY, International Polar Expedition, Report on the Proceedings of the United States Expedition to Lady Franklin Bay, Grinnell Land, Vol. II - Washington - (1888)
- NEUMAYER und BORGES, Die Internationale Polarforschung, 1882-1883, Die Beobachtungs - Ergebnisse der Deutschen Stationen, Band I, Kingua Fjord - Berlin (1886)
- E. SOLANDER, Exploration internationale des régions polaires, 1882-1883, Observations faites au Cap Thorsden, Spitzberg, par l'expédition suédoise, T. I. Stockholm (1891)
- A. F. W. PAULSEN, Observations internationales polaires 1882-1883, Expédition danoise, Observations faites à Godthaab, T. I., Copenhague (1893)
- A. GRATZL, Die Internationale Polarforschung 1882-1883, Die Österreichische Polarstation Jan Mayen, Band II, Theil V, Magnetische Beobachtungen
- H. P. DAWSON, Observations of the international Polar Expedition, 1882-1883, Fort Rae, London - (1886)
- Report of the international Polar Expedition to Point Barrow, Alaska, Washington - (1885)
- A. S. STEEN, Die internationale Polarforschung 1882-1883, Beobachtungs - Ergebnisse der Norwegischen Polarstation Bossekop in Alten - Christiana - (1888)
- K. ANDREJEFF, Expedition der Kaiserl. Russischen Geographischen Gesellschaft, Beobachtungen der Russischen Polarstation auf Nowaja Semlja, Theil I, Magnetische Beobachtungen (1891) (documents relatifs à Karmakul)
- S. L. EMSTRÖM et E. BIESE, Observations faites aux stations de Sodankylä et de Kultala, Tome III, - Helsingfors - (1898)
- V. FUSS, F. MÜLLER and N. JURGENS, Expedition der Kaiserl. Russischen Geographischen Gesellschaft, Beobachtungen der Russischen Polarstation an der Lenamündung, Theil I, Astronomische und Magnetische Beobachtungen (1895) (documents relatifs à Sagastyr)

- (11) - R. AMUNDSEN, Norwegian Arctic Expedition in the Gjoä 1903-1906, Geofys. Publ. 8 (1930)
- (12) - F. BIDLINGMAIER und J. BARTELS, P. NELLE, Deutsche Südpolar Expedition 1901-1903 "Erdmagnetism", Atlas - Berlin - (1912) (documents relatifs à Gauss Land)
- (13) - I. A. T. M. E. Bulletin n° 12g
- (14) - A. G. Mc NISH, "Geomagnetic coordinates for the entire Earth", Terr. Magn. Vol. 41, 37-43 - (1936)
- (15) - S. CHAPMAN and J. BARTELS, "Geomagnetism", - Oxford - (1940)
- (16) - E. H. VESTINE, "The geomagnetic Field", Carnegie Institution, 1947, Publication n° 580
- (17) - E. H. VESTINE, "The geographic incidence of aurora and magnetic disturbance, northern hemisphere", Terr. Magn., Vol. 49, 77-103, (1944)
- (18) - F. W. G. WHITE and M. GEDDES, "The antarctic zone of maximum auroral frequency", Terr. Magn., Vol. 44, 367-377, (1939)
- (19) - E. H. VESTINE and E. J. SNYDER, "The geographical incidence of aurora and magnetic disturbance, southern hemisphere", Terr. Magn., Vol. 50, 105-124 (1945)
- (20) - J. M. STAGG, "Hourly character-figures of magnetic declination at Kew, 1913-1923", Geophys. Memoirs, Vol. 4 n° 32 - London - (1926)
- (21) - E. SUCKSDORFF, "Die Erdmagnetische Aktivität in Sodankylä in den Jahren 1914-1934", Veröff. Geophys. Obs. Finn, Akad. Wiss, n° 25, (1942)
- (22) - I. A. T. M. E. Bulletin n° 12f
- (23) - I. A. T. M. E. Bulletin n° 12g
- (24) - J. BOUQUIN - Expéditions Polaires Françaises, Terre Adélie 1951-1952, Sondages ionosphériques - Paris - (1954)
- (25) - H. C. SILSBEE and E. H. VESTINE, "Geomagnetic Bays, their frequency and currents systems", Terr. Magn., Vol. 47, 195-208 (1942)
- (26) - S. CHAPMAN and V. C. A. FERRARO, "A new theory of magnetic storms", Terr. Magn. Vol. 36, 77-91, 171-86 (1931); vol. 37, 147-56, 421-429 (1932); vol. 38 79-96 (1933)
- (27) - S. CHAPMAN and V. C. A. FERRARO, "The theory of the first phase of a geomagnetic storm", Terr. Magn. Vol. 45, 245-268 (1940)
- (28) - V. C. A. FERRARO, "On the theory of the first phase of a magnetic storm", Terr. Magn. Vol. 57, 15-49 (1952)
- (29) - S. CHAPMAN, "Theories of the polar aurora", Ann. Geoph., T. 8., n° 2, 205-225 - Paris - (1952)
- (30) - D. F. MARTYN, "Magnetic storms and aurorae, solar particles at the earth", Mixed Commission on ionosphere, Proceedings of the second meeting, 49-58 (1951)
- (31) - E. & O. THELLIER, Dixième Assemblée Générale de l'U. G. G. I., communication sur "la variation D_{st} des orages à début brusque et des orages à début progressif"
- (32) - E. & O. THELLIER, "Eruptions chromosphériques, orages magnétiques à début brusque et récurrences de 27 jours", Colloques Internationaux du C. N. R. S., Sept. 1947, T. IX, p. 167-81
- (33) - E. & O. THELLIER, "Sur une différence essentielle entre les orages à début brusque et à début progressif, en ce qui concerne la récurrence de 27 jours", C. R. Acad. Sci. T. 227, p. 1044-1046
- (34) - K. O. KIEPENHEUER, "Emission of corpuscles of the sun", Terr. Magn. Vol. 57, 113-120 (1932)
- (35) - C. STÖRMER, "Résultats des calculs numériques des trajectoires des corpuscules électriques dans le champ d'un aimant élémentaire", Kristiana Skrifter Videnskapsselsk. Mat. - naturv. Kl. n° 1 (1913); 2 (1913); 3 (1913); 4 (1936); 5 (1936)
- (36) - H. POINCARÉ, Comptes Rendus Acad. Sci., Vol. 123, p. 530 - Paris
- (37) - H. ALFVÉN, Cosmical Electrodynamics - Oxford - (1950)
- (38) - S. CHAPMAN and V. C. A. FERRARO, "The geomagnetic ring-current", Terr. Mag. Vol. 46, 1-6 (1941); Vol. 51, 547-576 (1946)
- (39) - P. ROUGERIE, "Les baies géomagnétiques enregistrées à l'Observatoire du Val Joyeux", Ann. Geoph. T. 10, n° 1, 47-58 (1954)
- (40) - E. H. VESTINE, "Asymmetrical characteristics of the earth's magnetic disturbance field", Terr. Magn., Vol. 43, 261-282 (1938)

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE	1
Liste des principaux symboles.	7
INTRODUCTION	9
 <u>PREMIERE PARTIE</u>	
ELABORATION ET ANALYSE DES DONNEES D'ACTIVITE	15
 CHAPITRE I - <u>Indice K et amplitude moyenne tri-horaire a en gammas</u>	15
1.1. - L'indice K .	15
1.2. - Transformation des indices K en amplitudes a en gammas.	17
1.3. - Signification de l'amplitude tri-horaire a .	19
1.4. - Utilisation des amplitudes a .	20
 CHAPITRE II - <u>Les données expérimentales</u>	23
2.1. - Sources des documents.	23
2.2. - La mesure des indices, quelques remarques.	26
2.3. - Les valeurs des a_i et des A .	28
2.4. - Aspect qualitatif des deux types d'activité N et J .	35
 CHAPITRE III - <u>Choix d'un paramètre magnétique</u>	37
3.1. - Signification du paramètre magnétique.	37
3.2. - Utilisation du champ géomagnétique.	39
3.3. - Utilisation du champ magnétique en altitude.	40
3.3.1. Champ à 5000 km d'altitude.	41
3.3.2. Champ à des altitudes inférieures à 5000 km.	43
3.3.3. Comparaison numérique des différents résultats.	45
3.4. - Autres arguments en faveur du champ en altitude.	46
3.4.1. Données magnétiques.	46
3.4.2. Données aurorales.	48
3.5. - Conclusion : signification du champ en altitude.	50
 CHAPITRE IV - <u>Phase de l'activité N</u>	53
4.1. - Précision sur la mesure de M_N .	53
4.2. - Valeurs annuelles et saisonnières de $M_N - T'$.	54
4.2.1. Documents Nord de la IIème A. P. I.	55
4.2.2. Autres documents.	56
4.3. - Valeurs annuelles de $m - T'$.	56
4.4. - Conclusion.	57

CHAPITRE V - <u>Phase de l'activité J et aire d'expansion de cette activité</u>	59
5.1. - L'intérieur des isoclines de 81° des deux hémisphères N et S .	60
5.2. - Expansion de l'activité J à l'extérieur de la zone aurorale.	62
5.3. - L'activité J entre 77° et 81° d'inclinaison.	64
5.4. - Conclusion.	65
CHAPITRE VI - <u>L'intensité des activités N et J</u>	67
6.1. - L'amplitude journalière moyenne A .	68
6.1.1. Valeurs annuelles A pour tous les jours.	68
6.1.2. Valeurs saisonnières A pour tous les jours.	69
6.1.3. Valeurs annuelles A pour les jours calmes et perturbés.	71
6.2. - Le fond continu d'activité $a_{\min}$ et l'amplitude de la variation journalière $a_{\max} - a_{\min}$.	73
6.2.1. Activité N .	73
6.2.2. Activité J .	75
6.3. - Rattachement des observatoires non homogènes dans le temps.	76
6.3.1. Port-Martin, Heard et Macquarie.	76
6.3.2. Documents antérieurs à 1930.	77
6.4. - Conclusions générales.	78
6.4.1. Propriétés de l'activité N .	78
6.4.2. Propriétés de l'activité J et différences d'avec l'activité N .	79
 <u>DEUXIEME PARTIE</u>	
ACTIVITE MAGNETIQUE ET THEORIE DES ORAGES	81
CHAPITRE VII - <u>Essai d'interprétation de l'activité J</u>	81
7.1. - Interprétations antérieures.	81
7.1.1. Interprétation de J. M. Stagg.	81
7.1.2. Interprétation de A. P. Nikolsky.	83
7.2. - La théorie de Chapman-Ferraro.	84
7.3. - La quasi-permanence de l'activité J .	86
7.4. - La localisation de l'activité J .	88
7.5. - La variation saisonnière de l'activité J .	93
7.6. - La phase de l'activité J .	96
7.6.1. L'heure du maximum au midi magnétique local.	96
7.6.2. Le déplacement rapide de l'heure du maximum.	97
CHAPITRE VIII - <u>Remarques à propos de l'activité N</u>	99
8.1. - Données d'activité et caractères morphologiques.	100
8.2. - Champ en altitude.	102
8.3. - Localisation en latitude de l'activité N .	104
8.4. - Localisation en longitude de l'activité N .	105
CONCLUSION	109
Appendice.	111
Liste des figures.	123
Liste des tableaux.	124
Références.	125

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

DEPLACEMENT COMPARE DES POLES MAGNETIQUES NORD ET SUD
DE 1842 A NOS JOURS.

Vu et approuvé :

Paris, le 8 mai 1955

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

J. PERES

Vu et Permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

Jean SARRAILH

